



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΑΥΤΗΣ.**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ
ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

1090080

Επιβλέπων: ΒΟΥΡΟΣ Α., ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ/2024

Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών
Παπανικολάου Γεώργιος
© 2024 – Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Σπουδαστική εργασία έχει ως στόχο τη μελέτη ενσωμάτωσης ενός συστήματος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μία βιομηχανική μονάδα ΑΠΕ και πιο συγκεκριμένα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (Φ/Β). Τα (Φ/Β) συστήματα έχουν περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας ή αδυνατούν να ικανοποιήσουν την ηλεκτρική ζήτηση καθώς η παραγωγή ενέργειας είναι πολλές φορές απρόβλεπτη και εξαρτώμενη από εξωγενείς παράγοντες. Έτσι κρίνεται απαραίτητη η χρήση σταθμών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΑΗΕ) που επιτρέπει στο δίκτυο ηλεκτρισμού να «εξισορροπεί» την ηλεκτρική ζήτηση και την προσφορά από τα συστήματα ΑΠΕ. Μέσω της συμβολής τους στην εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης ενέργειας, οι σταθμοί αποθήκευσης ενέργειας βελτιώνουν σημαντικά την αποδοτικότητα των ανανεώσιμων πηγών και επιτρέπουν τη μέγιστη διείσδυση της ανανεώσιμης ενέργειας στο εθνικό ενεργειακό μίγμα. Οι πειραματικές μετρήσεις αντλούνται από ένα σύστημα λογισμικού (Fusion Solar) όπου χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση φωτοβολταϊκών συστημάτων ισχύος σε πραγματικό χρόνο το οποίο ανήκει στην εταιρεία της Huawei. Το (Φ/Β) σύστημα για το οποίο καταγράφηκαν τα δεδομένα είναι ισχύος 500kW, τα δεδομένα του χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση παραγωγής ενέργειας ενός μεγαλύτερου συστήματος στην ίδια περιοχή εγκατάστασης (ίδιες παράμετροι) ισχύος 100MW. Η μελέτη προσδιορίζει κατάλληλο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, παράμετροι της μελέτης αποτελούν, οι περιορισμοί που επιβάλλει στα συστήματα παραγωγής ενέργειας ο ανεξάρτητος διαχειριστής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (ΑΔΜΗΕ), η αρχή λειτουργίας και τα βασικά χαρακτηριστικά των ΣΑΗΕ καθώς και η εκτίμηση εσόδων αγοράς για την βιωσιμότητα του έργου.

Λέξεις κλειδιά ΣΑΗΕ, φωτοβολταϊκό σύστημα, πειραματικές μετρήσεις, ηλεκτρική ενέργεια, καμπύλη παραγωγής.

COMBINATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH AN ELECTRICAL ENERGY STORAGE SYSTEM

GIORGOS PAPANIKOLAOU

ABSTRACT

The present thesis aims to study the integration of an electrical energy storage system, with an industrial renewable energy source unit, specifically a photovoltaic system. Photovoltaic systems often have surplus electricity or fail to meet electrical demand because energy production is frequently unpredictable and dependent on external factors. Therefore, the use of electrical energy storage stations (EESS) is deemed necessary as they allow the electricity grid to "balance" the electrical demand and supply from renewable energy production systems. By contributing to the balance of energy supply and demand, energy storage stations significantly improve the efficiency of renewable sources and enable maximum penetration of renewable energy into the national energy mix. Experimental measurements are drawn from a software system (Fusion Solar) used for real-time monitoring of photovoltaic power systems, which belongs to Huawei. The photovoltaic system from which the data were recorded has a rated power of 500kW, and its data were used to simulate the energy production of a larger system in the same installation area (same parameters) with a rated power of 100MW. The study identifies a suitable electrical energy storage system, with study parameters including the constraints imposed on energy production systems by the Independent Power Transmission Operator (IPTO), the operating principles and key characteristics of EESS, and the estimation of market revenue for the project's viability.

Λέξεις κλειδιά

EESS, photovoltaic system, experimental measurements, electrical energy, energy production diagramm

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1 Σχέδιο υποβάθμισης - ενίσχυσης των μπαταριών.	51
--	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο.	11
Εικόνα 2.2 Διάγραμμα Σάνκεϊ κατανομής ηλιακής ενέργειας σε φωτοβολταϊκή συσκευή	13
Εικόνα 2.3 Διάγραμμα καμπύλης Τάσης – Ισχύος και Τάσης - Ρεύματος	13
Εικόνα 2.4 Αεροφωτογραφία Φωτοβολταϊκών συστημάτων που συνορεύουν.	14
Εικόνα 2.5 Αεροφωτογραφία Φωτοβολταϊκών συστημάτων που συνορεύουν	15
Εικόνα 2.6 Αρχή λειτουργίας μπαταρίας.	16
Εικόνα 2.7 Εξάρτηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας από το βάθος εκφόρτωσης.	18
Εικόνα 2.8 Διάγραμμα της Αγοράς Επόμενης Ημέρας.....	21
Εικόνα 2.9 Διάγραμμα όγκου της Αγοράς Επόμενης Ημέρας.	21
Εικόνα 3.1 Διάγραμμα απόδοσης φωτοβολταϊκού συστήματος από το PVGIS στην θέση Ταράνα.	24
Εικόνα 3.2 Διάγραμμα απόδοσης φωτοβολταϊκού συστήματος από το PVGIS.....	25
Εικόνα 3.3 Αεροφωτογραφία του φωτοβολταϊκού συστήματος στην θέση Ταράνα.....	26
Εικόνα 3.4 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετατροπέα μέρος Α.....	27
Εικόνα 3.5 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετατροπέα μέρος Β.....	28
Εικόνα 3.6 Φωτογραφία οικίσκου μετασχηματιστή μέσης τάσης.	30
Εικόνα 3.7 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή φωτοβολταϊκού πλαισίου μέρος Α.....	31
Εικόνα 3.8 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή φωτοβολταϊκού πλαισίου μέρος Β.....	32
Εικόνα 3.9 Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών συστοιχιών.....	33
Εικόνα 3.10 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή κοντέινερ μπαταριών.	35
Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας ΕΑΠ	vii

Εικόνα 3.11 Αρχιτεκτονική του συστήματος διαχείρισης μπαταρίας.....	37
Εικόνα 3.12 Προσομοίωση θερμοκρασίας του εσωτερικού ενός κοντέινερ μπαταριών.	38
Εικόνα 3.13 Προσομοίωση ροής αέρα στο εσωτερικό ενός κοντέινερ μπαταριών.	39
Εικόνα 3.14 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετατροπέα μέρος Α.....	40
Εικόνα 3.15 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετατροπέα μέρος Β.....	41
Εικόνα 3.16 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή πίνακα χαμηλής τάσης.....	42
Εικόνα 3.17 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετασχηματιστή 9MW μέρος Α.....	43
Εικόνα 3.18 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετασχηματιστή 9MW μέρος Β.....	44
Εικόνα 3.19 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετασχηματιστή 6MW μέρος Α.....	45
Εικόνα 3.20 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετασχηματιστή 6MW μέρος Β.....	46
Εικόνα 3.21 Αρχική οθόνη πλατφόρμας παρακολούθησης συστημάτων του φωτοβολταϊκού σταθμού στην θέση Τaráνα.....	47
Εικόνα 3.22 Οθόνη πλατφόρμας παρακολούθησης λειτουργίας μετατροπέων.....	48
Εικόνα 3.23 Οθόνη πλατφόρμας παρακολούθησης λειτουργίας ενός συστήματος με κατανάλωση ενέργειας.....	48
Εικόνα 3.24 Οθόνη πλατφόρμας παρακολούθησης λειτουργίας ενός συστήματος με ενσωματωμένο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	48
Εικόνα 3.25 Διάγραμμα προσέγγισης καμπύλης ισχύος – χρόνου.....	50
Εικόνα 3.26 Σχέδιο υποβάθμισης - ενίσχυσης των μπαταριών.....	52

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

[Καταγράφονται σε μορφή πίνακα όλα τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στην εργασία καθώς και η σημασία τους]

[παράδειγμα: k (N/m) - σταθερά ελατηρίου]

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	III
ABSTRACT	V
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	VI
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ	VII
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	XI
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΣΑΗΕ ΚΑΙ ΑΠΕ	2
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	3
2.0 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	5
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΓΙΑ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ-ΣΑΗΕ	5
2.1.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	6
2.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	7
2.1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	9
2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑ.	11
2.2.1 Κατασκευή Ηλιακού στοιχείου.....	11
2.2.2 Το φωτοβολταϊκό πανέλο.	12
2.2.3 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	12
2.2.4 Σύγκριση φωτοβολταϊκών συστημάτων διαφορετικής κλίμακας.....	14

2.3	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ.....	16
2.3.1	Αρχή λειτουργίας των μπαταριών.....	16
2.3.2	Σχέδιο υποβάθμισης & Σχέδιο ενίσχυσης των μπαταριών.....	17
2.3.3	Απόδοση κυκλικής διαδρομής.....	18
2.3.4	Κατανάλωση ενέργειας σε κατάσταση αναμονής.....	19
2.4	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	19
2.4.1	Πώληση ηλεκτρικής ενέργειας.....	19
2.4.2	Οικονομική ενίσχυση του ΣΑΗΕ.....	22
3.0	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	23
3.1	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	23
3.1.1	Θέση εγκατάστασης.....	23
3.1.2	Μετατροπείς Ισχύος DC/AC (Inverters DC/AC).....	26
3.1.3	Υποσταθμοί Ανύψωσης Τάσης XT/MT (20kV).....	29
3.1.4	Φ/Β Πλαίσια.....	29
3.1.5	Μεταλλικές Βάσεις Στήριξης Φ/Β Πλαισίων.....	30
3.2	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΑΗΕ.....	34
3.2.1	Smart String ESS - LUNA2000-2.0MWH-2H1 (Κοντέινερ μπαταριών)...	34
3.2.2	PCS LUNA2000-200KTL-H0	39
3.2.3	DC LV panel DCBOX-9/5-H0.....	42
3.2.4	Μετασχηματιστές.....	43
3.3	ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	47
3.4	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΚΛΙΜΑΚΑ ΕΡΓΟΥ	49
3.4.1	Σχηματισμός καμπύλης παραγωγής ενέργειας.....	49

3.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΔΑΝΙΚΟΥ ΣΑΗΕ.....	50
3.5.1	Υποβάθμιση των μπαταριών.....	51
3.5.2	Συνολικό κόστος επένδυσης.....	52
3.5.3	Οικονομική ενίσχυση.....	52
3.5.4	Τιμή πώλησης της MWh.....	53
3.5.5	Επαναληπτική διαδικασία.....	53
3.5.6	Κόστος επένδυσης.....	53
3.5.7	Οικονομική ενίσχυση.....	54
3.5.8	Έσοδα ΣΑΗΕ.....	54
3.5.9	Ποσό εκμεταλλεύσιμης ενέργειας.....	54
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	55
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	56

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Σπουδαστική Εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, με επιβλέποντα καθηγητή τον επίκουρο καθηγητή κ. Ανδρέα Βούρο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βούρο για την υποστήριξη και καθοδήγηση του καθ' όλη την διάρκεια της παρούσας μελέτης. Ευχαριστώ επίσης την εταιρεία της ALESCO A.E. για την πρόσβαση στην εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος και την άντληση πειραματικών δεδομένων από αυτή καθώς και την βοήθεια τους κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Huawei καθώς με βοήθησαν παρέχοντας μου πληροφορίες για τα συστήματα τους καθώς λεπτομέρειες για τις λειτουργίες τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου που με στήριξαν σε αυτό το πολύτιμο κομμάτι της ζωής μου, για την διεκπεραίωση της εργασίας, καθώς και σε όλη την διάρκεια της φοίτησης μου στο Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών.

Πάτρα 2024

Παπανικολάου Γεώργιος

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΥ ΣΑΗΕ ΚΑΙ ΑΠΕ

Ο στόχος του συνδυασμού του συστήματος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και του (Φ/Β) σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι να επιτρέπει στο δίκτυο ηλεκτρισμού την εξισορρόπηση της ηλεκτρικής ζήτησης και της προσφοράς από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Η χρήση των σταθμών αποθήκευσης ενέργειας επιτρέπει την αποτελεσματικότερη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ελάχιστη δυνατή χρήση μονάδων τροφοδοτούμενων με ακριβά και ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα.

Η λειτουργία του Σταθμού Αποθήκευσης όπως και τα (Φ/Β) συστήματα έχουν μηδενική παραγωγή αέριων ρύπων με αποτέλεσμα την αποφυγή της ρύπανσης του τοπικού περιβάλλοντος. Το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην Ελλάδα γίνεται μέσω ορυκτών καυσίμων όπως το μαζούτ, το πετρέλαιο, το ντίζελ, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας. Από την καύση των παραπάνω απελευθερώνονται επιβλαβή αέρια (διοξείδιο το άνθρακα, διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου) στην ατμόσφαιρα τα οποία όπως είναι γνωστό προκαλούν την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Επιπλέον η αποθήκευση ενέργειας είναι ευέλικτη, διοχετευόμενη και εύκολα αξιοποιήσιμη στο επίπεδο του ηλεκτρικού δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να συμβάλλουν στην υποστήριξη υπηρεσιών δικτύου όπως η απόκριση συχνότητας, η αποφόρτιση, η προσθήκη και η σταθεροποίηση τάσης αποτελεσματικά και «σχεδόν» στιγμιαία.

Τέλος οι Σταθμοί Αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μία εναλλακτική λύση έναντι εφεδρικών γεννητριών, όπως συστήματα βασισμένα σε ντίζελ, για τη βελτίωση της απόδοσης εκπομπών μιας βιομηχανικής ή εμπορικής εγκατάστασης. Παρέχουν μια σύγχρονη προσέγγιση χαμηλότερου άνθρακα, ενώ παράλληλα διασφαλίζουν τη συνεχή παροχή σε περίπτωση εξωτερικής διακοπής ρεύματος.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ιστορία της ηλιακής ενέργειας [1] ξεκινάει χιλιάδες χρόνια πίσω, από την αξιοποίηση της από τους προγόνους μας για θέρμανση και επιβίωση. Οι πρώτοι πολιτισμοί λάτρευαν τον ήλιο, αναγνωρίζοντας τη δύναμη του να μεγαλώνει καλλιέργειες και να παρέχει φως. Οι αρχαίοι Έλληνες και Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν αρχιτεκτονικές τεχνικές για να συλλάβουν τη θερμότητα του ήλιου, σχεδιάζοντας παράθυρα που κοιτούσαν προς τον νότο και χρησιμοποιώντας ανακλαστικά υλικά για την μεγιστοποίηση του ηλιακού φωτός στα σπίτια και στα λουτρά τους.

Κατά τον τρίτο αιώνα π.Χ. οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν «καθρέπτες καύσης» για την ανάφλεξη δάδων για θρησκευτικούς σκοπούς. Λέγεται ότι τον 2ο αιώνα π.Χ. ο Αρχιμήδης χρησιμοποίησε τις ανακλαστικές ιδιότητες του ορείχαλκου για να βάλει φωτιά σε ρωμαϊκά πλοία που επιτίθονταν στις Συρακούσες. Μέχρι τον 6ο αιώνα μ.Χ. οι ηλιόλουστες αίθουσες στα σπίτια έγιναν δημοφιλείς. Ο Κώδικας του Ιουστινιανού καθιέρωσε τα «ηλιακά δικαιώματα» για να διασφαλίσει την ατομική πρόσβαση στον ήλιο.

Ο πρώτος συλλέκτης ηλιακής ενέργειας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το 1767. Ο Ελβετός επιστήμονας Οράτιος-Βενέδικτος ντε Σωσύρ έκανε την ανακάλυψη όταν θερμική ενέργεια, κυρίως ο ατμός, ακόμα βρισκόταν και σε δοκιμαστικό στάδιο. Κατασκεύασε ένα μονωμένο κουτί με ένα άνοιγμα και τρία στρώματα γυαλιού. Αυτό το γυαλί μεγέθυνε τη θερμότητα του ήλιου σε θερμοκρασίες που ξεπερνούσαν τους 230 βαθμούς Φαρενάιτ και χρησιμοποιήθηκε με διάφορους τρόπους.

Το 1839 υπήρξε ένα σημαντικό ορόσημο στην εξέλιξη της ηλιακής ενέργειας: τον ορισμό του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Ένας νεαρός Γάλλος στην, στην ηλικία των 19 ετών με το όνομα Εντμούντ Μπεκερέλ ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ενώ έκανε έρευνα στο εργαστήριο του πατέρα του με ένα ηλεκτρολυτικό κύτταρο αποτελούμενο από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια τοποθετημένα σε ένα ηλεκτρολύτη. Μετά την έκθεσή του στο φως, η ενέργεια αυξήθηκε.

Μέχρι το έτος 1953, η μελέτη της Παγκόσμιας Θέρμανσης άρχισε να εμφανίζεται στον τύπο. Τόσο το περιοδικό Time όσο και το Popular Mechanics δημοσίευσαν άρθρα για το θέμα. Οι άνθρωποι άρχισαν να συνειδητοποιούν την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί η ανάγκη για μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Το πρώτο πρακτικό φωτοβολταϊκό κύτταρο αναπτύχθηκε το 1954 στα εργαστήρια Bell από τους Ντάριλ Τσάπλιν, Τζέραλντ Πίρσον και Κάλβιν Σάουθερ Φούλερ.

Από την αρχαιότητα [2], οι άνθρωποι πάντα αναζητούσαν τρόπους για να αποθηκεύσουν ενέργεια ή να κατασκευάσουν κάποια μορφή μπαταριών. Η αρχαιότερη μπαταρία που έχει ανακαλυφθεί είναι η μπαταρία της Βαγδάτης (ή Παρθική), η οποία πιστεύεται ότι είναι 2.000 ετών. Παρόλο που η συσκευή μπορούσε να παράγει μόνο 1 με 2 βολτ ηλεκτρισμού και όχι όλοι οι επιστήμονες την αποδέχονται ως πηγή ενέργειας, έδειξε την ανθρώπινη επιθυμία να ελέγχει την ενέργειά του.

Ο Ιταλός φυσικός Alessandro Volta [3] είναι γνωστός για την εφεύρεση της πρώτης λειτουργικής μπαταρίας. Εμπνευσμένος από τον Luigi Galvani, ο Volta πραγματοποίησε πειράματα με ηλεκτροχημικά φαινόμενα τη δεκαετία του 1790. Περίπου το 1800, δημιούργησε τη "στοίβα του Volta", η οποία αποτελούνταν από εναλλασσόμενους δίσκους ψευδαργύρου και αργύρου, χωρισμένους με χαρτί ή ύφασμα εμποτισμένα σε υδροξείδιο του νατρίου ή αλατόνερο. Τα πειράματά του οδήγησαν τον Michael Faraday το 1834 να διατυπώσει τους νόμους της ηλεκτροχημείας, θέτοντας τις βάσεις για τη σύγχρονη τεχνολογία των μπαταριών.

2.0 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τις βασικές αρχές λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, ενός συστήματος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με μπαταρίες καθώς και στο μοντέλο λειτουργίας της αγοράς-πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας του ΣΑΗΕ.

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΓΙΑ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ-ΣΑΗΕ

Η αναγκαιότητα ανάπτυξης συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας είναι μια ευρέως αποδεκτή έννοια σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Από τεχνική άποψη, η αποθήκευση είναι απαραίτητο μέσο για την επίτευξη της απαλλαγής των ενεργειακών συστημάτων από τις ανθρακούχες εκπομπές. Ειδικότερα όσον αφορά την «αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας» σε εθνικό επίπεδο, η αποθήκευση αποτελεί πηγή ευελιξίας μαζί με τις συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και τον σημαντικότερο τοπικό πόρο για τη συστηματική διαχείριση της χρονικά μεταβαλλόμενης υπερπαραγωγής ΑΠΕ σε σχέση με τη ζήτηση. Αυτή η χρονική διαφορά μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ΑΠΕ είναι χαρακτηριστικό των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή διείσδυση ΑΠΕ. Η αποθήκευση από αυτή την άποψη, θεωρείται απαραίτητο εργαλείο για να μπορέσουν οι ΑΠΕ να καλύψουν την πλήρη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στα αυριανά πλήρως απανθρακοποιημένα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα μετά την εισήγηση του ΑΔΜΗΕ για περιορισμό στο 72% μέγιστης ισχύος παραγωγής σε όλα τα «μεγάλα» όπως ονόμασε φωτοβολταϊκά είναι απαραίτητη η αξιοποίηση της τεχνολογίας των ΣΑΗΕ για την αποθήκευση της εξέχουσας ενέργειας όπου θα βοηθήσει στην εξομάλυνση της καμπύλης προσφοράς και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

2.1.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ένα (Φ/Β) σύστημα, επίσης γνωστό ως σύστημα PV ή ηλιακό σύστημα ισχύος, είναι ένα ηλεκτρικό σύστημα ισχύος σχεδιασμένο να παρέχει χρησιμοποιήσιμη ηλιακή ενέργεια μέσω φωτοβολταϊκών. Αποτελείται από μια διάταξη πολλών εξαρτημάτων, συμπεριλαμβανομένων ηλιακών πάνελ για την απορρόφηση και τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό, ενός ηλιακού μετατροπέα για τη μετατροπή της εξόδου από συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα, καθώς και συστημάτων στήριξης, καλωδίωσης και άλλων ηλεκτρικών αξεσουάρ για τη δημιουργία ενός λειτουργικού συστήματος. Πολλά φωτοβολταϊκά συστήματα μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιούν συστήματα παρακολούθησης που ακολουθούν την καθημερινή πορεία του ήλιου στον ουρανό για να παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από τα σταθερά τοποθετημένα συστήματα[4].

Οι βασικές λειτουργίες που επιτελούνται σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι:

- **Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο:** το οποίο λαμβάνει θέση στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο και προκαλεί διαφορά δυναμικού στην διασταύρωση δύο υλικών που δεν είναι όμοια με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή συνεχούς ρεύματος.
- **Η μετατροπή ρεύματος:** χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά μεταγωγής των ημιαγωγικών συσκευών (όπως τρανζίστορ πεδίου ή θυρίστορες, κ.λπ.) για να ελέγχει την τάση και το ρεύμα της τροφοδοσίας μέσω γρήγορης μεταγωγής, μετατρέποντας έτσι το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα αντίστοιχης συχνότητας και τάσης.
- **Νόμος της επαγωγής του Faraday:** [5] δηλώνει ότι, όταν γίνεται μια αλλαγή στη μαγνητική ροή που συνδέεται με ένα κύκλωμα, θα επαχθεί μια ηλεκτρεγερτική δύναμη στο κύκλωμα.

Τα κύρια μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος περιλαμβάνουν:

Φωτοβολταϊκά πλαίσια: [6] Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από έναν αριθμό φωτοβολταϊκών στοιχείων. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται σε σειρά, παράλληλά ή σε συνδυασμούς προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες σε τάση και σε ρεύμα. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πρέπει να είναι όμοια, για να εμφανίζουν όμοια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και να επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Μετατροπέας: όταν το εισερχόμενο συνεχές ρεύμα περνάει μέσω της ημιαγωγικής συσκευής στον μετατροπέα, διαχωρίζεται σε μια σειρά παλμών σημάτων, τα οποία φιλτράρονται και ρυθμίζονται για να παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα με την ίδια συχνότητα, πλάτος και κυματομορφή με την επιθυμητή έξοδο.

Μετασχηματιστής: Είναι μια συσκευή που μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια από ένα κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος σε ένα ή περισσότερα κυκλώματα, είτε αυξάνοντας είτε μειώνοντας την τάση.

Τέλος το σημαντικότερο σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι η μελέτη για την μεγιστοποίηση της απόδοσης που θα επιφέρει και το μέγιστο ποσό παραγόμενης ενέργειας που θα φτάσει στο συνδεδεμένο δίκτυο. Κύριοι παράμετροι στην μελέτη είναι οι σκιάσεις, η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, οι καλωδιώσεις καθώς και η χωροθέτηση των στοιχείων του συστήματος.

2.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες μπορεί να παρέχει ευέλικτες λύσεις διαχείρισης ενέργειας που μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα της ενέργειας των συστημάτων υβριδικής παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Προς αυτή την κατεύθυνση, έχουν αναπτυχθεί διάφορες στρατηγικές ελέγχου και διαμορφώσεις για υβριδικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, όπως ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες. [7]

Οι βασικές λειτουργίες που επιτελούνται σε ένα σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι:

- **Η αποθήκευση της ενέργειας** σε μπαταρίες φωσφορικού σιδήρου λιθίου (LiFePO₄ ή LFP): [8] Η βασική αρχή τους είναι να χρησιμοποιούν τη μετακίνηση των ιόντων λιθίου μεταξύ του θετικού και του αρνητικού ηλεκτροδίου για να επιτύχουν τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κύρια συστατικά των μπαταριών λιθίου είναι το θετικό ηλεκτρόδιο, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, ο διαχωριστής και ο ηλεκτρολύτης.

- **Η μετατροπή ρεύματος:** όπως προανάφερα
- **Νόμος της επαγωγής του Faraday:** όπως προανάφερα

Τα κύρια μέρη ενός συστήματος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνουν:

- **Έξυπνο Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας Smart String ESS:** Υιοθετεί μια αρθρωτή σχεδίαση και αποτελείται από το θάλαμο μπαταριών, το θάλαμο ελέγχου των έξυπνων ραφιών και το θάλαμο ελέγχου συνολικά και των συστημάτων ασφαλείας. Ενσωματώνει τις μπαταρίες φωσφορικού σιδήρου λιθίου και τα ράφια μπαταριών καθώς και διάφορα άλλα συστήματα.
- **Έξυπνο σύστημα μετατροπής ισχύος Smart PCS:** Συνδυάζει τη λειτουργία μετατροπής ισχύος, διαχείρισης και ελέγχου για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της αποδοτικότητας του συστήματος.
- **Ο μετασχηματιστής υψηλής τάσης:** Μετασχηματιστής που θα λειτουργήσει με την αρχή που προαναφέρθηκε. Σε αντίθεση με τον μετασχηματιστή των φωτοβολταϊκών συστημάτων ο μετασχηματιστής μετατρέπει την υψηλή τάση σε μέση για να μπορέσει να διοχετευτεί στο δίκτυο.

Χάρη στην ταχεία ανάπτυξη των μπαταριών, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται πρόσφατα για πολλαπλές εφαρμογές, όπως ρύθμιση συχνότητας, σταθεροποίηση δικτύου, μείωση απωλειών μεταφοράς, ελάφρυνση συμφόρησης, αύξηση αξιοπιστίας, εξομάλυνση ενέργειας από άνεμο και ήλιο, εφεδρεία περιστροφής, αποκοπή αιχμής, εξισορρόπηση φορτίου, αδιάλειπτες πηγές ισχύος, υπηρεσίες δικτύου, σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EV) και άλλες.

2.1.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.

Εκτός από την τεχνική πτυχή, η αποθήκευση έρχεται με σημαντικά οφέλη και σε καθαρά όρους αγοράς. Η αποθήκευση είναι ένα μέσο εξισορρόπησης της παραγωγής με τη ζήτηση που μπορεί να βοηθήσει στην εξομάλυνση της αστάθειας των τιμών στις Αγορές Επόμενης Ημέρας (Day Ahead Market - DAM), συμπεριλαμβανομένου του φαινομένου των μηδενικών ή ακόμη και αρνητικών ωριαίων τιμών DAM. Η αποθήκευση μπορεί επίσης να συμμετέχει σε μια ποικιλία υπηρεσιών εξισορρόπησης και να βοηθήσει στην αποφυγή υπερβολικών τιμών της Αγοράς Εξισορρόπησης (Balance Market - BM). Μπορεί να ενισχύσει περαιτέρω τις ευκαιρίες για διμερείς συμβάσεις εκτός του χρηματιστηρίου ηλεκτρικής ενέργειας και ενοποίηση χαρτοφυλακίου («Σωρευτική Εκπροσώπηση») μεταξύ των συμμετεχόντων στην αγορά, ιδίως εκείνων με χαρτοφυλάκια ΑΠΕ.

Βασικοί συμμετέχοντες στην Αγορά Ενέργειας

- **Παραγωγοί:** Παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια που τελικά καταναλώνεται από τους εγχώριους ή εξωτερικούς καταναλωτές.
- **Αυτοπαραγωγοί:** Παράγουν όλη ή μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζονται για ίδια κατανάλωση.
- **Εισαγωγείς:** Αγοράζουν ενέργεια από παραγωγούς εκτός της χώρας ή προμηθευτές εκτός της χώρας και την προμηθεύουν στην ενιαία εθνική δεξαμενή.
- **Προμηθευτές:** Αγοράζουν την ενέργεια από τη δεξαμενή που την έχουν εναποθέσει οι παραγωγοί ή οι εισαγωγείς.
- **Εξαγωγείς:** Παίρνουν τα φορτία από τη δεξαμενή και τα διοχετεύουν σε εξωτερικά δίκτυα.
- **Πελάτες:** Οι πελάτες ή αλλιώς καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να επιλέγουν ποιος προμηθευτής επιθυμούν να τους προμηθεύσει ρεύμα ή αν πρόκειται και για καταναλωτές-βιομηχανίες που καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας μπορούν να προμηθευτούν ρεύμα και κατευθείαν από τη δεξαμενή.
- **Ο Κύριος και Διαχειριστής του Συστήματος-ΑΔΜΗΕ:** Από τη στιγμή που θα παραχθεί το ηλεκτρικό ρεύμα στις μονάδες παραγωγής ή θα εισαχθεί στη χώρα από γειτονικά συστήματα μέσω των εθνικών διασυνδέσεων το ρεύμα έχει δύο δρόμους. Ή θα

κατευθυνθεί απευθείας σε μεγάλους καταναλωτές που προμηθεύονται κατευθείαν από το δίκτυο υψηλής τάσης ή θα κινηθεί προς το δίκτυο μέσης τάσης.

- **Διαχειριστής ΑΠΕ και εγγυήσεων προέλευσης-ΔΑΠΕΕΠ:** Βασικές αρμοδιότητες: α) Υποβάλλει στο σύστημα διαχείρισης πληροφορίες συναλλαγών ενέργειας, β) υπεύθυνος ημερήσιας εκκαθάρισης προσφορών προς το σύστημα, γ) Καθορισμός ενιαίας ειδικής τιμής αγοράς ανά ΑΠΕ.
- **Διαχειριστής του Δικτύου-ΔΕΔΔΗΕ:** Βασικές αρμοδιότητες είναι α) ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση του εθνικού δικτύου διανομής, με στόχο να είναι αξιόπιστο, ασφαλές και αποδοτικό, β) δίκαιη και αμερόληπτη πρόσβαση των εμπλεκόμενων χρηστών στο δίκτυο.
- **Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ):** Βασικές αρμοδιότητες (όσον αφορά ηλεκτρισμό) είναι α) η εποπτεία εγχώριας αγοράς ενέργειας, σε όλους τους τομείς της, β) ρύθμιση θεμάτων ασφάλειας τροφοδοσίας, γ) επίλυση διαφορών μεταξύ καταναλωτών-προμηθευτών ή εναντίον καταγγελιών προς το διαχειριστή του συστήματος ή του δικτύου.

Η αποθήκευση μπορεί επίσης να είναι πολύτιμη για την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών. Με τη στρατηγική γεωγραφική κατανομή των πόρων αποθήκευσης, μπορεί να δώσει απαντήσεις στο αυξανόμενο πρόβλημα της συμφόρησης του δικτύου και μπορεί να συμβάλει στην αναβολή του κόστους επένδυσης στο δίκτυο. Άλλες βοηθητικές υπηρεσίες δικτύου, εκτός του πλαισίου της αγοράς ενέργειας, περιλαμβάνουν τη ρύθμιση τάσης και αέργου ισχύος, την απόκριση ταχείας συχνότητας, την ψηφιακή αδράνεια και την εκκίνηση σε περίπτωση διακοπών παροχής ενός δικτύου μεγάλης κλίμακας (διακοπές ρεύματος).

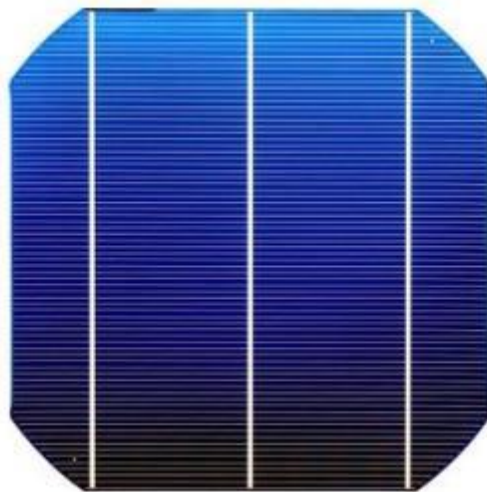
Σύμφωνα με την εισήγηση του ΑΔΜΗΕ, σε όσα «μεγάλα» φωτοβολταϊκά υπόκεινται στη ρύθμιση, προτείνεται να επιβληθεί περιορισμός στο 72% μέγιστης ισχύος παραγωγής. Ο περιορισμός αυτός θα είναι μόνιμος, δηλαδή θα ισχύει για όλες τις ώρες παραγωγής των (Φ/Β) συστημάτων κάτι το οποίο μας οδηγεί στην ενσωμάτωση των ΣΑΗΕ με κύριο στόχο την αξιοποίηση αυτής της εξέχουσας ενέργειας.

Στο σύστημά μας έχουμε έσοδα από δύο πηγές, το (Φ/Β) σύστημα και το σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας όμως η μελέτη θα γίνει για τα έσοδα που προσφέρει ο ΣΑΗΕ καθώς σκοπός είναι η ενσωμάτωση του στο (Φ/Β) σύστημα.

2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑ.

2.2.1 Κατασκευή Ηλιακού στοιχείου.

Για να ενσωματώσουμε ένα ηλιακό στοιχείο σε ένα κύκλωμα, χρειαζόμαστε μεταλλικές επαφές σε κάθε πλευρά του στοιχείου. Αυτές ως δίοδος για το ρεύμα που θα παραχθεί από τα φωτόνια που χτυπούν την επάνω επιφάνεια του ηλιακού στοιχείου. Αν και αυτό είναι σχετικά εύκολο να γίνει στην κάτω πλευρά, όπου πραγματοποιείται με λεπτά ελάσματα σε όλη την επιφάνεια, στην επάνω πλευρά είναι αρκετά πιο δύσκολο. Η πρόκληση ωφείλεται στο ότι, για να έχουμε υψηλές τιμές ρεύματος, πρέπει να έχουμε χαμηλή αντίσταση, πράγμα που απαιτεί όσο το δυνατόν φαρδύτερα ελάσματα. Ωστόσο, το πάχος των ελασμάτων στην επάνω πλευρά επηρεάζει άμεσα τη σκίαση του ηλιακού στοιχείου.



Εικόνα 2.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο.

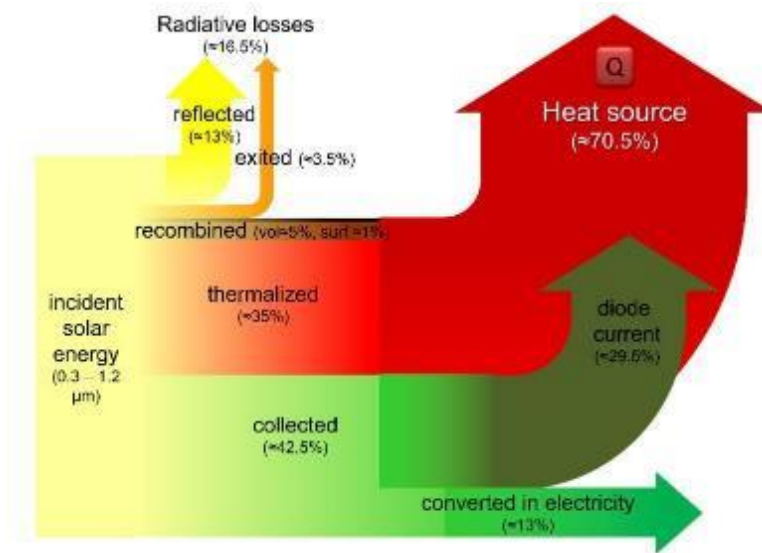
Πρακτικά, πρέπει να βρούμε τη «χρυσή τομή» και την καλύτερη σχεδίαση, ώστε να επιτύχουμε τον καλύτερο δυνατό συμβιβασμό: όσο το δυνατόν χαμηλότερη αντίσταση και όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απορρόφηση φωτός.

2.2.2 Το φωτοβολταϊκό πανέλο.

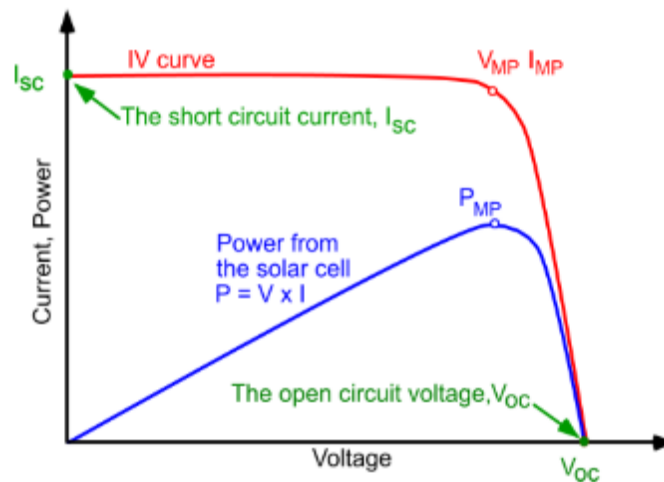
Στόχος είναι η μέγιστη δυνατή απορρόφηση ακτινοβολίας, τα στοιχεία επιστρώνονται με κατάλληλο υλικό που περιορίζει τις αντανakλάσεις. Στο επάνω μέρος του πανέλου τοποθετείται γυαλί για να περιορίσει τις αντανakλάσεις, να απορροφάει όσο το δυνατό περισσότερο φως γίνεται καθώς και να προσφέρει μηχανική αντοχή στα (Φ/Β) στοιχεία. Γενικότερα στα (Φ/Β) πανέλα θέλουμε να έχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απορρόφηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας παρόλα αυτά μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτής θα αξιοποιηθεί τελικά ως ηλεκτρική ενέργεια. Το μεγαλύτερο κομμάτι της ενέργειας θα χαθεί αφού τα φωτόνια έχουν μικρό μήκος κύματος και δεν μπορούν να απορριφθούν από τις ενώσεις p-n, το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση που των φωτονίων που έχουν μεγαλύτερο μήκος κύματος από το επιθυμητό. Επίσης σημαντικό μέρος ενέργειας χάνεται λόγω της διαφοράς δυναμικού στο στοιχείο και ιδιαίτερα στην φορτισμένη περιοχή. Τέλος ένα μικρό κομμάτι ενέργειας χάνεται λόγω της ανακλώμενης ακτινοβολίας.

2.2.3 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Δύο από τα πιο βασικά μεγέθη ενός (Φ/Β) συστήματος είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}) και η τάση ανοιχτοκυκλώματος (V_{oc}). Όπως υποδηλώνουν τα ονόματά τους, η τάση ανοιχτοκυκλώματος είναι η τάση που μετράται όταν το (Φ/Β) πλαίσιο δεν είναι συνδεδεμένο σε κύκλωμα, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι το μέγιστο ρεύμα που παράγεται όταν οι ακροδέκτες του είναι βραχυκυκλωμένοι υπό πλήρη ακτινοβολία.



Εικόνα 2.2 Διάγραμμα Σάνκεί κατανομής ηλιακής ενέργειας σε φωτοβολταϊκή συσκευή



Εικόνα 2.3 Διάγραμμα καμπύλης Τάσης – Ισχύος και Τάσης - Ρεύματος

Η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης ενός (Φ/Β) πάνελ έχει ένα ιδιαίτερο σχήμα. Η μέγιστη ισχύς εξόδου που μπορεί να δώσει το πάνελ βρίσκεται στο «γόνατο» αυτής της καμπύλης, το οποίο είναι και το βέλτιστο σημείο λειτουργίας. Πέρα από αυτό το σημείο, είτε το ρεύμα είτε η τάση αρχίζουν να μειώνονται χωρίς αντίστοιχη αύξηση της άλλης μεταβλητής, οπότε το (Φ/Β) δεν λειτουργεί με τη μέγιστη απόδοσή του. Είναι επομένως κρίσιμο να

διατηρείται η λειτουργία του φωτοβολταϊκού όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αυτό το βέλτιστο σημείο για να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή απόδοση.

2.2.4 Σύγκριση φωτοβολταϊκών συστημάτων διαφορετικής κλίμακας.

Υπάρχουν πολλά εργαλεία για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε την παραγωγή ενός (Φ/Β) συστήματος οποιουδήποτε «μεγέθους» ισχύος. Τις περισσότερες φορές όμως όσο καλή και να είναι μια μελέτη του συστήματος είναι χρονοβόρα και απαιτεί αρκετά δεδομένα. Γι' αυτό το λόγο όταν σε μία περιοχή όπου γίνονται περισσότερα από ένα (Φ/Β) συστήματα, που σημαίνει πως οι παράμετροι σχεδίασης και μελέτης του έργου είναι ίδιες, μπορούμε να εκτιμήσουμε την απόδοση του νέου συστήματος βάση πειραματικών μετρήσεων του αρχικού. Αυτός ο εύκολος προσδιορισμός του νέου συστήματος οφείλεται κυρίως στην συνδεσμολογία των υποσυστημάτων καθώς μπορούμε να συνεχίσουμε να χρησιμοποιούμε τα ίδια υποσυστήματα και να μην αλλάζει καμία από τις παράμετρούς τους συμπεραίνοντας πως θα έχουν και τις ίδιες αποδόσεις όσον αφορά την παραγωγή ενέργειας.



Εικόνα 2.4 Αεροφωτογραφία Φωτοβολταϊκών συστημάτων που συνορεύουν.



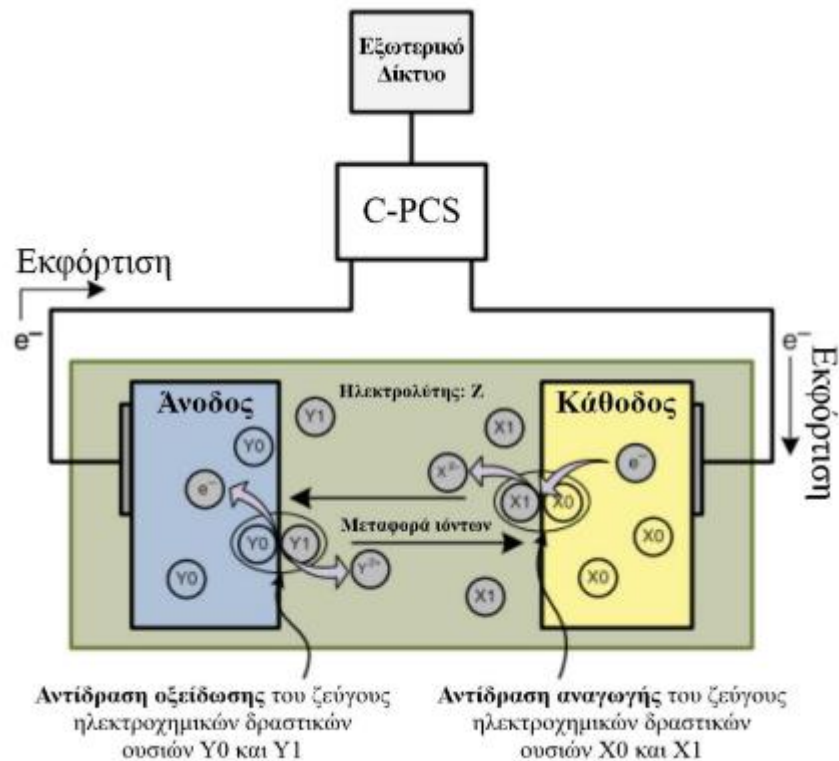
Εικόνα 2.5 Αεροφωτογραφία Φωτοβολταϊκών συστημάτων που συνορεύουν

Στις παραπάνω φωτογραφίες μπορούμε να παρατηρήσουμε 4 διαφορετικούς υποσταθμούς M/T (Μέσης τάσης) τα οποία υποδεικνύουν την ύπαρξη τεσσάρων διαφορετικών (Φ/Β) συστημάτων ίδιας ισχύος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρούμε πως τα συστήματα βρίσκονται σε συνέχεια μεταξύ τους που σημαίνει πως σε περίπτωση που ο παραγωγός ενέργειας ήταν ένας θα μπορούσε να έχει ένα συνολικό σύστημα με την διαφορά πως οι τέσσερις μετασχηματιστές θα γινόταν ένας. Με αυτό το παράδειγμα βλέπουμε πως χωρίς καμία αλλαγή στις παραμέτρους και έχοντας διαφορές μόνο ως προς την αλλαγή των απωλειών λόγω του μετασχηματιστή, κάτι το οποίο θα επέφερε προσεγγιστικά αύξηση κατά 1% στην παραγωγή, μπορούμε να εκτιμήσουμε την παραγωγή του συνολικού συστήματος χωρίς να έχουμε κάνει νέα μελέτη για το σύστημα μεγαλύτερης κλίμακας.

2.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

2.3.1 Αρχή λειτουργίας των μπαταριών.

Για να κατανοήσουμε πως λειτουργούν τα βιομηχανικά συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας πρώτα πρέπει να εξοικειωθούμε με την λειτουργία μιας μπαταρία. Στο κέντρο της μπαταρίας, έχουμε δύο ηλεκτρόδια, το ένα θετικό (κάθοδος) και το άλλο αρνητικό (άνοδος), τα οποία είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά, τα οποία θα ονομάσουμε X, και Y. Αυτά τα ηλεκτρόδια βυθίζονται σε έναν ηλεκτρολύτη, που παίζει τον ρόλο του "μεσάζοντα". Όταν συνδέσουμε ένα εξωτερικό κύκλωμα στα δύο ηλεκτρόδια, κλείνει το κύκλωμα και η μπαταρία αρχίζει να εκφορτίζεται. Αυτό σημαίνει ότι συμβαίνουν χημικές αντιδράσεις που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα ηλεκτρόνια αρχίζουν να ρέουν από την άνοδο (την αρνητική πλευρά) προς την κάθοδο (τη θετική πλευρά) μέσω του εξωτερικού κυκλώματος [10].

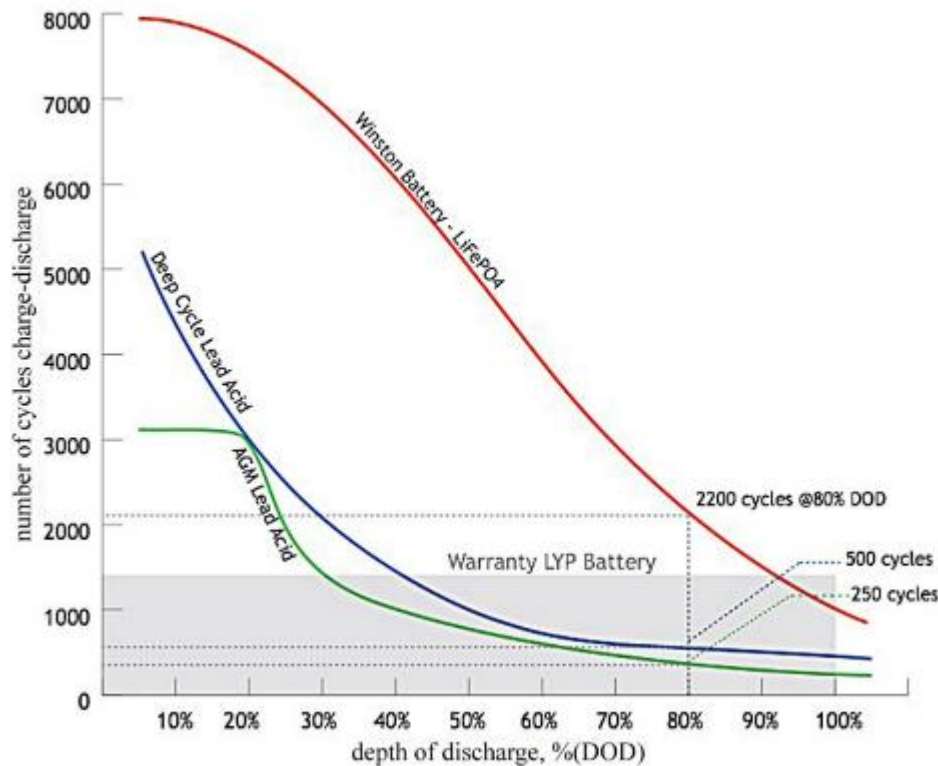


Εικόνα 2.6 Αρχή λειτουργίας μπαταρίας.

Κατά την εκφόρτιση, το υλικό Y στην άνοδο απελευθερώνει ηλεκτρόνια και μετατρέπεται σε ένα θετικό ιόν. Αυτά τα ηλεκτρόνια ταξιδεύουν μέσω του κυκλώματος προς την κάθοδο, όπου συνδυάζονται με το υλικό X, προκαλώντας μια αντίδραση αναγωγής που οδηγεί στον σχηματισμό ενός αρνητικού ιόντος. Μέσα στη μπαταρία, ο ηλεκτρολύτης επιτρέπει στα ιόντα να κινούνται μεταξύ των ηλεκτροδίων, διατηρώντας την ισορροπία των φορτίων. Με την πάροδο του χρόνου, οι χημικές αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια αρχίζουν να εξασθενούν, μειώνοντας τη διαφορά δυναμικού και άρα την τάση της μπαταρίας. Για να επαναφέρουμε αυτή τη διαφορά δυναμικού και να επαναφορτίσουμε την μπαταρία, χρειάζεται να εφαρμόσουμε μια εξωτερική πηγή ενέργειας, η οποία αντιστρέφει τη ροή του ρεύματος, επαναφέροντας τις χημικές ουσίες στην αρχική τους κατάσταση.

2.3.2 Σχέδιο υποβάθμισης & Σχέδιο ενίσχυσης των μπαταριών.

Η απόδοση και η υγεία των μπαταριών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την περίπτωση χρήσης, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας λειτουργίας, του προφίλ κατανάλωσης ενέργειας και της στρατηγικής ελέγχου (έντονοι εναλλασσόμενοι τρόποι φόρτισης-εκφόρτισης) που επιβάλλονται από το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας. Επιπλέον, στα βιομηχανικά συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν πολλές βοηθητικά ηλεκτρικά συστήματα τα οποία ενεργούν για την ασφάλεια της μπαταρίας από πυρκαγιά, από υπερθέρμανση ακόμα και την απομακρυσμένη παρακολούθηση του συστήματος. Αυτά τοποθετούνται ως πρόσθετα φορτία στη μπαταρία, με αποτέλεσμα την αυξημένη φθορά της χωρητικότητας της μπαταρίας. Οι μπαταρίες μπορούν να φορτίζονται με διαφορετικούς ρυθμούς, οι οποίοι είναι ανάλογοι με την ποσότητα του ρεύματος που διαρρέει τη μπαταρία. Με την αύξηση τόσο του ρεύματος φόρτισης όσο και του ρεύματος εκφόρτισης, αυξάνεται όχι μόνο η ένταση της λειτουργίας, αλλά και ο ρυθμός γήρανσης της μπαταρίας.[11]



Εικόνα 2.7 Εξάρτηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας από το βάθος εκφόρτωσης.

Σύμφωνα με σχετική ΦΕΚ για να μπορέσει ο παραγωγός ενέργειας να πάρει οικονομική ενίσχυση έως 25% της συνολικής αξίας του σταθμού αποθήκευσης ενέργειας θα πρέπει μέχρι και τα πρώτα 10 χρόνια λειτουργίας η δυναμικότητα της μπαταρίας να ισούται με τουλάχιστον 85% της αρχικής χωρητικότητας της. Κάτι το οποίο σημαίνει πως θα χρειαστεί να γίνει εγκατάσταση πρόσθετων μπαταριών κατά την διάρκεια ζωής του έργου.

2.3.3 Απόδοση κυκλικής διαδρομής.

Χαρακτηριστικό μέγεθος σε ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας είναι η απόδοση κυκλικής διαδρομής (Round Trip Efficiency). Αναφέρεται στην αποδοτικότητα ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, υπολογίζοντας το ποσοστό της ενέργειας που ανακτάται κατά την εκφόρτωση σε σχέση με την ενέργεια που καταναλώθηκε κατά τη φόρτιση.

2.3.4 Κατανάλωση ενέργειας σε κατάσταση αναμονής.

Το σύστημα δεν λειτουργεί σε συνεχή βάση αλλά συνεργάζεται με το (Φ/Β) σύστημα κάτι που σημαίνει πως το σύστημα αποθήκευσης θα βρίσκεται αρκετές ώρες καθημερινά σε κατάσταση αναμονής. Κατά την διάρκεια αυτής της κατάστασης καταναλώνεται ενέργεια για να βρίσκεται το σύστημα σε ετοιμότητα. Η κατανάλωση ενέργειας σε κατάσταση αναμονής περιλαμβάνει:

1. Όλες τις απώλειες χωρίς φορτίο των υφιστάμενων μετασχηματιστών ισχύος.
2. Όλες τις άλλες απαραίτητες δευτερεύουσες καταναλώσεις κατά την κατάσταση αναμονής:
 - ✓ Ενέργεια θέρμανσης / ψύξης για τα δοχεία της μπαταρίας.
 - ✓ Η μέση ισχύς των δευτερευόντων φορτίων της εγκατάστασης αποθήκευσης ενέργειας κατά την κατάσταση αναμονής θα καταγράφεται στο SCADA.
 - ✓ Απώλειες από τις δευτερεύουσες καταναλώσεις των Έξυπνων Σταθμών Μετασχηματιστή για έλεγχο και παρακολούθηση.
3. Οι μπαταρίες και οι PCS διατηρούνται σε κατάσταση ετοιμότητας, έτοιμες να παρέχουν μέγιστη ισχύ εξαγωγής εντός ενός δευτερολέπτου.
4. Το σύστημα θερμικής ρύθμισης διατηρεί τις μπαταρίες στη συνιστώμενη θερμοκρασία και οι PCS θα έχουν τις ηλεκτρονικές βαλβίδες ενεργοποιημένες (όχι μπλοκαρισμένες).

2.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.

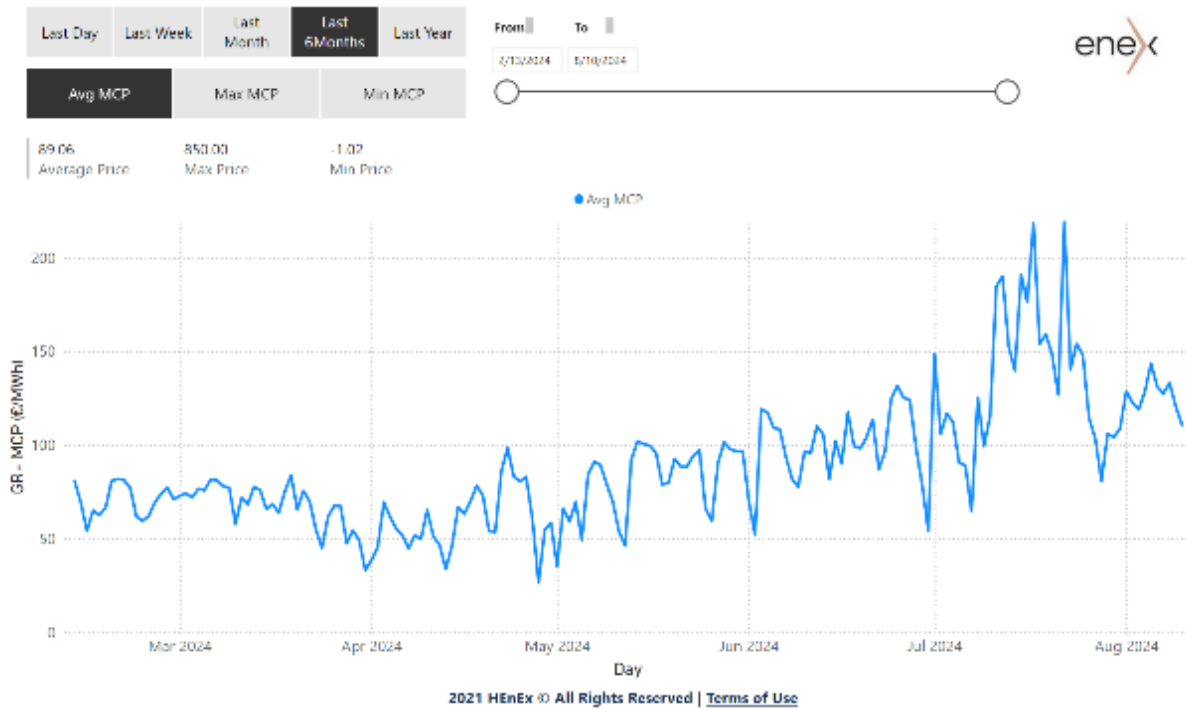
2.4.1 Πώληση ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μέθοδος που θα επιλέξουμε για την πώληση της ενέργειας είναι η συμμετοχή του παραγωγού στην αγορά επόμενης ημέρας (Day-Ahead Market) η οποία αφορά συναλλαγές αγοράς και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με υποχρέωση φυσικής παράδοσης την ημέρα D.[12] Στην αγορά Day-Ahead (DAM), η ηλεκτρική ενέργεια ανταλλάσσεται τόσο με διμερή συμβόλαια OTC (Over The Counter), όσο και με ανταλλαγή ισχύος. Οι συναλλαγές για αγορά ή πώληση ηλεκτρικής

ενέργειας με φυσική υποχρέωση παράδοσης την ημέρα (D) δημοπρατούνται την ημέρα D-1 όπου δηλώνονται επίσης όλες οι συναλλαγές χρηματοοικονομικών προϊόντων ενέργειας με φυσική παράδοση με σκοπό τη φυσική παράδοση των προϊόντων για κάθε Αγοραία Χρονική Μονάδα της Ημέρας Εκπλήρωσης Φυσικής Παράδοσης D. Η συμμετοχή είναι υποχρεωτική για τους παραγωγούς και προαιρετική για όλους τους άλλους συμμετέχοντες. Οι παραγωγοί είναι υποχρεωμένοι να υποβάλλουν παραγγελίες πώλησης για τη διαθέσιμη χωρητικότητα των μονάδων τους που δεν έχουν ήδη εκχωρηθεί μέσω συναλλαγών ενεργειακών χρηματοοικονομικών προϊόντων ή άλλων συναλλαγών που αφορούν ενεργειακά προϊόντα χονδρικής με υποχρέωση φυσικής παράδοσης. Η Αγορά Day-Ahead λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο. Κατά το κλείσιμο της ημέρας, κάθε αγορά πρέπει να είναι ισορροπημένη υπό την έννοια ότι η προγραμματισμένη παραγωγή πρέπει να ισούται με την προβλεπόμενη ζήτηση συν / μείον τις καθαρές εξαγωγές προς ή εισαγωγές από άλλες ζώνες αγοράς. Στην αγορά DAM, οι ζώνες της αγοράς μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους. Τα κύρια οφέλη μιας αγοράς Day-Ahead είναι, μεταξύ άλλων, ότι αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος παρέχοντας επαρκή προειδοποίηση για προγραμματισμό, μειώνει τον αντίκτυπο της αβεβαιότητας στις τιμές της αγοράς σε πραγματικό χρόνο, επειδή ένα μικρότερο ποσοστό παραγωγής εκτίθεται σε πραγματικό χρόνο στη μεταβλητότητα των τιμών, και αυξάνει τη ρευστότητα, καθώς οι συναλλαγές μπορεί να είναι χρηματοοικονομικές συμβάσεις και όχι συμβάσεις για φυσική παράδοση.

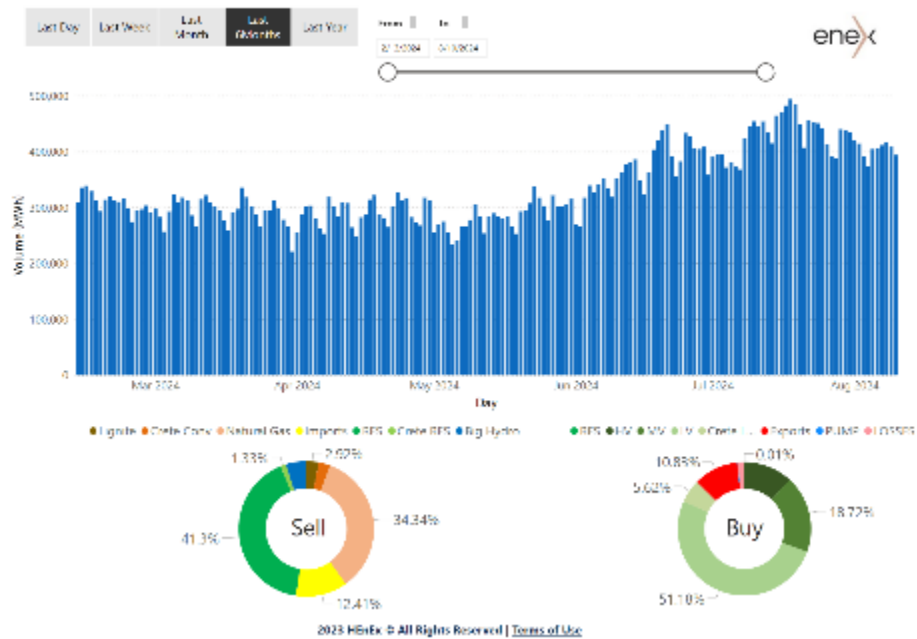
Στο πλαίσιο της Αγοράς Επόμενης Ημέρας δηλώνονται επίσης οι ποσότητες ενέργειας όπως προκύπτουν από τις διμερείς συμβάσεις και την Προθεσμιακή Αγορά του EXE για τα προϊόντα με υποχρέωση φυσικής παράδοσης.

Τιμή Εκκαθάρισης της Αγοράς Επόμενης Μέρας.



Εικόνα 2.8 Διάγραμμα της Αγοράς Επόμενης Ημέρας

Όγκος της Αγοράς Επόμενης Ημέρας



Εικόνα 2.9 Διάγραμμα όγκου της Αγοράς Επόμενης Ημέρας.

2.4.2 Οικονομική ενίσχυση του ΣΑΗΕ

Συγκεκριμένα και σύμφωνα με τα ειδικότερα οριζόμενα στο άρθρο 8 της ΚΥΑ οι Σ.Α.Η.Ε. πρέπει, μεταξύ άλλων,

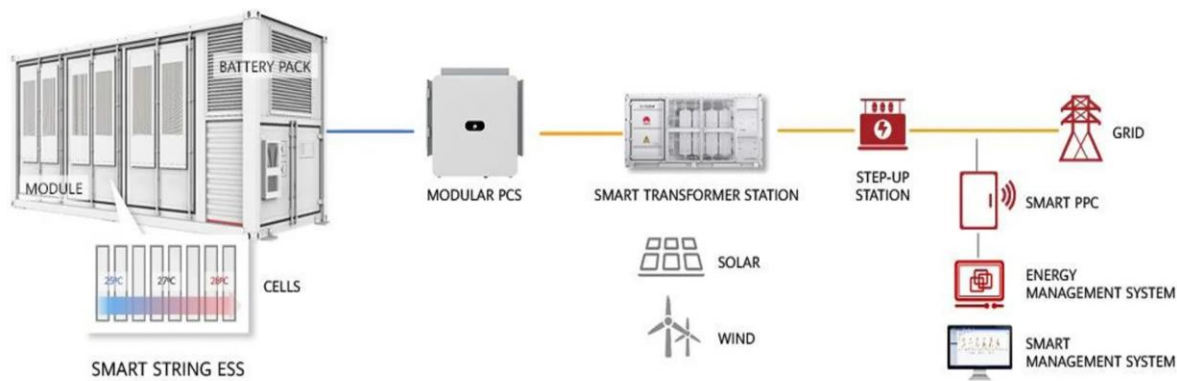
- (α) να διαθέτουν εγγυημένη (ωφέλιμη) χωρητικότητα διάρκειας τουλάχιστον δύο (2) ωρών (MWh/MW),
- (β) να διαθέτουν βαθμό απόδοσης πλήρους κύκλου κατ' ελάχιστον ίσο με 80% κατά την έναρξη της λειτουργίας τους,
- (γ) όταν βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής (active and stand-by), η συνολική κατανάλωση ενέργειας για οποιονδήποτε σκοπό να μην υπερβαίνει σε ημερήσια βάση το 15% της εγγυημένης χωρητικότητας,
- (δ) να επιτυγχάνουν διαθεσιμότητα ισχύος τουλάχιστον ίση με 93%, (ε) να πληρούν το σύνολο των τεχνικών απαιτήσεων για σύνδεση σταθμών αποθήκευσης με το Ε.Σ.Μ.Η.Ε. σύμφωνα με τις σχετικές αποφάσεις της Αρχής, κατ' εφαρμογή των σχετικών Κανονισμών, όπως εκάστοτε ισχύουν,
- (ε) να διαθέτουν ικανότητα συμμετοχής στις διαδικασίες εφεδρείας διατήρησης συχνότητας, χειροκίνητης και αυτόματης εφεδρείας αποκατάστασης συχνότητας του Ε.Σ.Μ.Η.Ε.,
- (στ) να είναι συμβατοί με τα πρότυπα EN IEC 62933-5-2, NFPA 855, EN IEC 61936-1 ή με ισοδύναμα διεθνή ή εθνικά πρότυπα και κανονισμούς. [13].

Επιπρόσθετα η οικονομική ενίσχυση προβλέπεται ως εξής:

- Επενδυτική ενίσχυση κατασκευής του ΣΑΗΕ 200.000€/MW εγκατεστημένης ισχύος
- Επενδυτική ενίσχυση λειτουργίας ΣΑΗΕ για τα πρώτα 10 έτη λειτουργίας του σταθμού 100.000€/MW εφόσον περάσει μια ανταγωνιστική διαδικασία. Για την οποία ισχύει ότι ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή προσφοράς για την Α' και Β' Ανταγωνιστική Διαδικασία καθορίζεται σε εκατόν δεκαπέντε χιλιάδες ευρώ (€ 115.000) ανά μεγαβάτ ανά έτος (€/MW/έτος).

3.0 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα κύριες παραμέτρους και τα χαρακτηριστικά εγκατάστασης του (Φ/Β) συστήματος και του ΣΑΗΕ. Επιπλέον, θα αναλύσουμε την πλατφόρμα παρακολούθησης για την λήψη και την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων και την προσέγγιση αλλαγής κλίμακας του (Φ/Β) έργου. Τέλος θα υπολογίσουμε λαμβάνοντας υπόψιν οικονομικά στοιχεία την ισχύ του ιδανικού ΣΑΗΕ. Στη συνέχεια δίνεται ένα διάγραμμα ροής για την όλη εγκατάσταση.

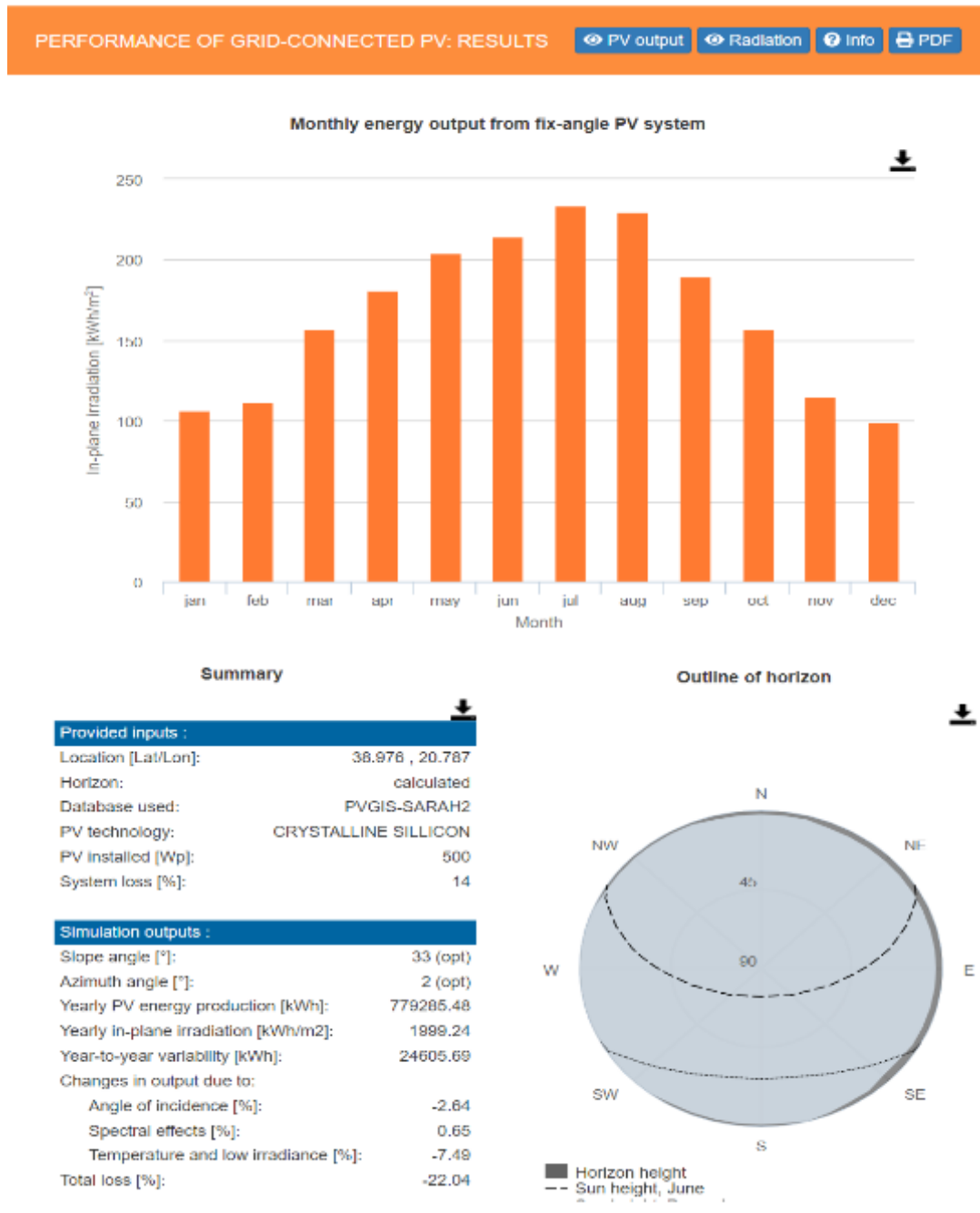


3.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.

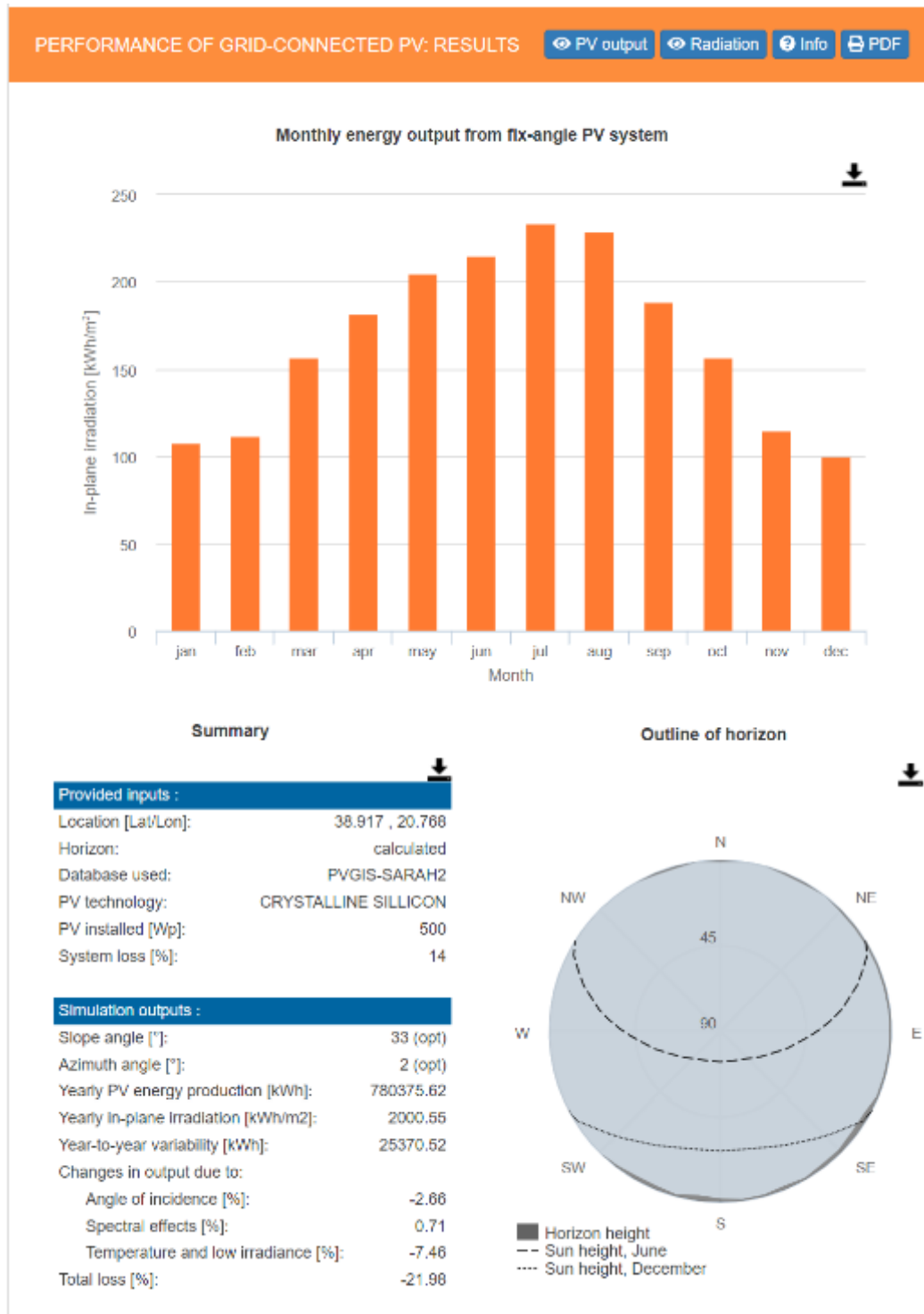
3.1.1 Θέση εγκατάστασης.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει εγκατασταθεί στην θέση Ταράνα στο Νεοχώρι Πρεβέζης και βρίσκεται σε απόσταση μόλις 7 χιλιόμετρα από την θέση εγκατάστασης του νέου φωτοβολταϊκού συστήματος στην περιοχή του Ακτίου Πρεβέζης. Σύμφωνα με το PVGIS Calculator αν είχαμε το φωτοβολταϊκό που είναι εγκατεστημένο στην θέση Ταράνα η διαφορές στην παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας θα ήταν μηδαμινές. Επομένως υποθέτουμε πως τα δύο συστήματα θα λειτουργούν με ίδιες παραμέτρους.



Εικόνα 3.1 Διάγραμμα απόδοσης φωτοβολταϊκού συστήματος από το PVGIS στην θέση Ταράνα.



Εικόνα 3.2 Διάγραμμα απόδοσης φωτοβολταϊκού συστήματος από το PVGIS στην περιοχή του Ακτίου.



Εικόνα 3.3 Αεροφωτογραφία του φωτοβολταϊκού συστήματος στην θέση Ταράνα.

3.1.2 Μετατροπείς Ισχύος DC/AC (Inverters DC/AC).

Οι Inverters DC/AC είναι τοπολογίας στοιχειοσειράς (string inverters). Το σύστημα αποτελείται από επτά (7) μετατροπείς HUAWEI SUN2000-60KTL-M1 και ένα (1) μετατροπέα SUN2000-60KTL-M0. Αντίστοιχα, το (B) σύστημα αποτελείται από τέσσερις (4) μετατροπείς SUN2000-100KTL-M1 και ένα (1) μετατροπέα SUN2000-60KTL-M0. Οι συγκεκριμένοι μετατροπείς έχουν βαθμό απόδοσης 98,8% με προστασία IP65, χωρίς Μετασχηματιστή απομόνωσης, με ενσωματωμένη αντικεραυνική προστασία τόσο στο DC όσο στο AC, TYPE 2. Επίσης, έχουν ενσωματωμένο διακόπτη φορτίου DC και AC. Ο μετατροπέας είναι κατάλληλος για τοποθέτηση σε εξωτερικό χώρο και έχουν τοποθετηθεί σε ειδικά διαμορφωμένες μεταλλικές βάσεις, οι οποίες έχουν τοποθετηθεί στο πίσω μέρος των βάσεων στήριξης των Φ/Β πλαισίων. Η τάση λειτουργίας του μετατροπέα είναι στα 1100V DC από την μεριά του συνεχούς ρεύματος, ακολουθώντας τις σύγχρονες τάσεις της τεχνολογίας για μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης και μειωμένες απώλειες. Ο

μετατροπέας ελέγχει την κατάσταση του δικτύου και μόλις ανιχνεύσει κάποιο σφάλμα (υπόταση, υπέρταση, διακοπή φάσης κλπ) τίθεται αυτομάτως εκτός λειτουργίας για να προστατευτεί η εγκατάσταση και το δίκτυο. Η λειτουργία του μετατροπέα είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές VDE 0126 για την αποφυγή του φαινομένου της νησιδοποίησης, καθώς επίσης και με τις απαιτήσεις του ΔΕΔΔΗΕ και μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυό του.



Εικόνα 3.4 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετατροπέα μέρος Α

SUN2000-60KTL-M0
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000-60KTL-M0
Efficiency	
Max. efficiency	98.9% @480 V; 98.7% @380 V / 400 V
European efficiency	98.7% @480 V; 98.5% @380 V / 400 V
Input	
Max. Input Voltage	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	600 V @380 Vac / 400 Vac; 720 V @480 Vac
Number of Inputs	12
Number of MPP Trackers	6
Output	
Rated AC Active Power	60,000 W
Max. AC Apparent Power	66,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66,000 W
Rated Output Voltage	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, default 3W + N + PE; 3W + PE optional in settings; 277 V / 480 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	91.2 A @380 V, 86.7 A @400 V, 72.2 A @480 V
Max. Output Current	100 A @380 V, 95.3 A @400 V, 79.4 A @480 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading... 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED Indicators, Bluetooth + APP
RS485	Yes
USB	Yes
Monitoring BUS (MBUS)	Yes
General Data	
Dimensions (W x H x D)	1,075 x 555 x 300 mm (42.3 x 21.9 x 11.8 inch)
Weight (with mounting plate)	74 kg (163.1 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C (-13°F ~ 140°F)
Cooling Method	Natural Convection
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Amphenol Helios H4
AC Connector	Waterproof PG Terminal + Terminal Clamp
Protection Degree	IP65
Topology	Transformerless
Nighttime Power Consumption	< 2 W
Standard Compliance (more available upon request)	
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, IRR-DCC-MV, G99
Grid Connection Standards	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, VDE 4120, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11, DEWA

Εικόνα 3.5 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετατροπέα μέρος Β

3.1.3 Υποσταθμοί Ανύψωσης Τάσης XT/MT (20kV).

Ο Υ/Σ XT/MT για τις ανάγκες του Φ/Β Σταθμού διαθέτει συνολική ονομαστική ισχύ Μετασχηματιστών ≥ 1000 kVA και είναι κατασκευασμένος σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς και τα IEC. Η ισχύς των Inverters DC/AC είναι το πολύ ίση με την ισχύ του Μ/Σ που συνδέονται. Η εγκατάσταση του εξοπλισμού των Υ/Σ XT/MT είναι εντός οικίσκου. Ο Υ/Σ έχει τρεις (3) ανεξάρτητους χώρους:

- Χώρος Χαμηλής Τάσης (XT) •
- Χώρος Μετασχηματιστή (Μ/Σ) •
- Χώρος Πεδίων Μέσης Τάσης (MT)

Στα διαμερίσματα Μέσης και Χαμηλής τάσης υπάρχουν ανοίγματα με περσίδες για τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, με κατάλληλη προστασία για την αποφυγή εισόδου εντόμων (πχ. σίτα κατάλληλης πλέξης). Η ονομαστική τάση λειτουργίας του είναι 400V/50Hz. Στην είσοδο του Γ.Π.Χ.Τ έχουν συνδεθεί σύστημα απαγωγής υπερτάσεων, το οποίο εξασφαλίζει την κανονική λειτουργία του πίνακα και μετά από κεραυνικά πλήγματα στο δίκτυο διανομής. Χώρος Μ/Τ Ο χώρος Μετασχηματιστή είναι ο χώρος που φιλοξενεί το μετασχηματιστή ο οποίος είναι Ελαίου, ισχύος 500kVA. Έχει χαμηλές απώλειες και είναι συμμορφωμένος σύμφωνα με το νέο Ευρωπαϊκό πρότυπο οικολογικού σχεδιασμού 548/2014. • Συχνότητα: 50Hz • Ονομαστική τάση πρωτεύοντος: 20kV $\pm 2 \times 2.5\%$ • Ονομαστική τάση δευτερεύοντος: 0.4kV • Συνδεσμολογία: Dyn11 Τάση βραχυκυκλώσεως: 4% Είναι πιστοποιημένοι κατά: IEC 60076-11, EN 50588-1 Χώρος Μ.Τ.

3.1.4 Φ/Β Πλαίσια.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ που χρησιμοποιήθηκαν είναι της εταιρείας LUXOR τύπου BIFACIAL, ECO LINEHALF CELL M144 / 390 - 410W, μονοκρυσταλλικού πυριτίου, ισχύος 400wp. Τα Φ/Β στοιχεία ενσωματώνονται αεροστεγώς και υδατοστεγώς μεταξύ μιας πλάκας από ειδικό γυαλί, πάχους 3,2mm και στρωμάτων συνθετικού καλύμματος. Οι γωνίες σφραγίζονται με ειδικό

πλαστικό για μεγαλύτερη στεγανότητα και κατόπιν ενσωματώνεται περιμετρικά με το μεταλλικό πλαίσιο που είναι από κράμα ανοδιωμένου αλουμινίου. Παρακάτω φαίνεται το τεύχος με τα χαρακτηριστικά τους αναλυτικά.



Εικόνα 3.6 Φωτογραφία οικίσκου μετασχηματιστή μέσης τάσης.

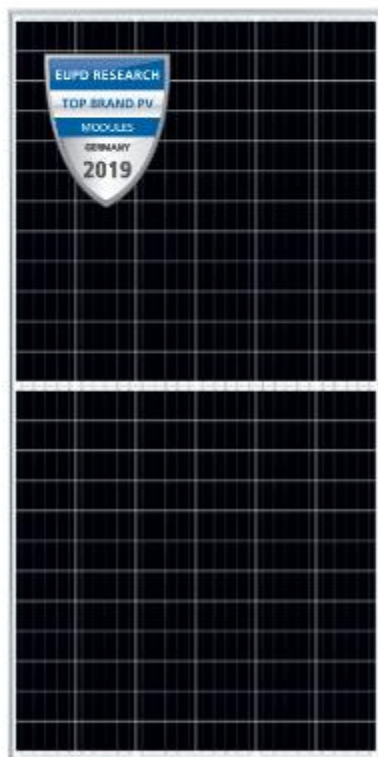
3.1.5 Μεταλλικές Βάσεις Στήριξης Φ/Β Πλαισίων.

Οι Μεταλλικές Βάσεις Στήριξης σκοπό έχουν να μπορούν να στηρίξουν επί αυτών τα Φ/Β Πλαίσια και θα αποτελούνται από:

- ✓ Την ανωδομή, αποτελούμενη από κατάλληλο χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμό
- ✓ Τη θεμελίωση, η οποία θα γίνει με πασσαλόμπτυξη και θα είναι από χάλυβα εν θερμό γαλβανισμένο.
- ✓ Η Βάση στήριξης (GEO-F25) Φ/Β αφορά διπάσσαλο πλαίσιο με πασσαλόμπτυξη. Είναι σχεδιασμένο για την τοποθέτηση σε 2 σειρές Φ/Β πάνελς. Η Τυποποιημένη γωνία κλίσης είναι 250 και χάρη στις οβάλ οπές των κάθετων πασσάλων προσαρμόζεται σε μικρές διορθώσεις της κλίσης. Το Δίστηλο πλαίσιο αποτελείται από 2 κατακόρυφους ορθοστάτες και μια κεκλιμένη Δοκό για την υποστήριξη των τεγίδων.

Solar Module
Manufacturer
Since 2004

 **LUXOR**
the sunshine people



- REDUCED LOSSES DURING PARTIAL SHADING
- HIGHER YIELD: MORE REFLECTION ON CELL SURFACE
- APPLICATIONS: INDUSTRIAL AND COMMERCIAL POWER PLANTS
- ECO: ESPECIALLY ECONOMIC AND RELIABLE



product guarantee¹



linear performance guarantee¹



ECO LINE HALF CELL
M144 / 390 - 410 W

MONOCRYSTALLINE MODULE FAMILY



Longlife tested



Power proofed



Safety provided



Selection of
components



Cross-linking
degree test



Performance surplus
of 0 Wp to 6.49 Wp



100% PID
free cells



Special packing to
avoid micro cracks
in the cells



German
warranty

Εικόνα 3.7 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή φωτοβολταϊκού πλαισίου μέρος Α.

ECO LINE HALF CELL M144 / 390 - 410 W

Monocrystalline module family

Module type LX - XXXM/158-144+ | XXX - Rated power P_{mpo}

Electrical data at STC					
Rated power P_{mp} [W]	390.00	395.00	400.00	405.00	410.00
P_{mp} range to	395.49	401.49	406.49	411.49	416.49
Rated current I_{mp} [A]	9.55	9.60	9.65	9.70	9.75
Rated voltage V_{mp} [V]	40.85	41.16	41.47	41.78	42.09
Short-circuit current I_{sc} [A]	10.08	10.14	10.19	10.24	10.30
Open-circuit voltage V_{oc} [V]	49.40	49.77	50.14	50.52	50.90
Efficiency at STC up to	19.69%	19.93%	20.18%	20.43%	20.68%
Efficiency at 200 W/m ²	19.13%	19.37%	19.62%	19.87%	20.12%

Electrical data at NOCT					
Power at P _{mp} [Wp]	287.94	292.01	296.13	300.30	304.53
Rated current I _{mp} [A]	7.64	7.68	7.73	7.78	7.93
Rated voltage V _{mp} [V]	37.71	38.02	38.31	38.60	38.90
Short-circuit current I _{sc} [A]	8.14	8.18	8.23	8.27	8.32
Open-circuit voltage U _{oc} [V]	45.60	45.95	46.31	46.68	47.04

Specifications as per STC (Standard test conditions): Irradiance 1000 W/m² | module temperature 25°C | Air Mass = 1.5
NOCT (nominal operating cell temperature): Irradiance 800 W/m² | wind speed 1 m/sec | ambient temperature 25°C | cell operating temperature 45 ± 3°C | Air Mass = 1.5

Limiting values	
Max. system voltage [V]	1000 V or 1500 V
Max. return current [I]	25 A
Operating Temperature	-40 to 85°C
Safety class	II
Max. tested pressure load [Pa]	5400
Max. tested tensile load [Pa]	2400

Temperature coefficient	
Temperature coefficient [V] [I] [P]	-0.30% /°C 0.06% /°C -0.40% /°C

Specifications	
Number of cells (matrix)	144 (6 x 24) 158 x 79 mm
Module dimensions (LxWxH) ³ Weight	2010 mm x 1002 mm x 40 mm 24 kg
Front-side glass	3.2 mm tempered highly transparent, anti-reflection solar glass
Frame	stable, anodised aluminium frame
Junction Box	At least IP67
Cable	symmetrical cable lengths > 1.1 m and 1.1 m, 4 mm ² solar cable
Diodes	3 Schottky Diodes
Plug-in connection	MC4 or equivalent (IP67)
Hail test (max. hailstorm)	ø 45 mm impact velocity 23 m/s ± 83 km/h

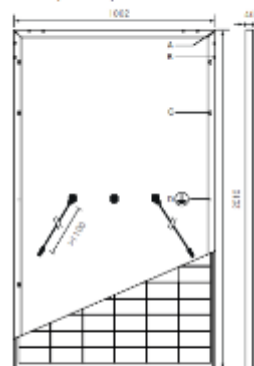
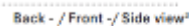
The specifications and average values can vary slightly. Relevant is the corresponding data of the individual measurement. Specifications are subject to change without notice. Measurement tolerance depending on equipment: rated power $\pm 3\%$, other values $\pm 10\%$. All information given in this data sheet corresponds to DIN EN 50360. A potential light-induced degradation of the power after commissioning is not considered here. Further information in the installation manual.

1 The specific warranty conditions are given under www.luxon-solar.com/download.htm

2 Horizontal mounted

3. Tolerances L/W = ± 3 mm, H ± 2 mm, the dimensions given in the order confirmation will be decisive

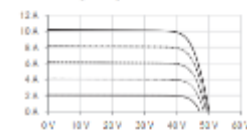
4 Location and dimensions of holes on receiver



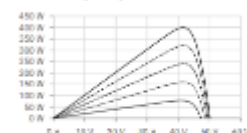
Drilled holes⁴

Electrical characteristics

UL-diagram e.g. LC-4000/150-1444



HP-diagram e.g. IX-4004d / 156-144



..... 500 W/m²
 --- 400 W/m²
 --- 600 W/m²
 - - - 800 W/m²
 ===== 1000 W/m²

Luxor, your specialised company



IEC
IEC 61215
IEC 61730



Guidelines:
93/68/EEC
2014/35/EU (LVD)
2014/30/EU (EMC)

The validity of the certificates/listings for a specific country has to be examined under:
www.lux-e-audit.com/download/Usm

100

Εικόνα 3.8 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή φωτοβολταϊκού πλαισίου μέρος Β

- Ο Εμπρός πάσσαλος είναι διατομής τύπου C—120/55/20 και πάχους 4 mm με ολικό μήκος 1950mm και ελεύθερο ύψος στην επιφάνεια του εδάφους (720mm). Προκύπτει από λαμαρίνα πλάτους __248 mm.
- Ο Πίσω πάσσαλος είναι διατομής τύπου C—86/42/18 και πάχους 3mm με ολικό μήκος 2890 mm και ελεύθερο ύψος στην επιφάνεια του εδάφους (1690mm). Προκύπτει από λαμαρίνα πλάτους __188 mm.
- Η Κεκλιμένη Δοκός είναι διατομής τύπου C—120/50/18 και πάχους 2,5mm με μήκος (3200 mm). Φέρει οπές τύπου οβάλ στην πλευρά που συνδέεται με τους κάθετους πασσάλους καθώς και στο άνω μέρος της που συνδέονται οι τεγίδες. Προκύπτει από λαμαρίνα πλάτους __240 mm.
- Οι πάσσαλοι έμπηξης καθώς και η κεκλιμένη δοκός παράγονται από χάλυβα S 235 JR +AR __EN-10025, ο οποίος μετά την διαμόρφωση, του γαλβανίζεται εν θερμώ σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO- 1461. Το πάχος επικάλυψης ψευδαργύρου είναι 70 μm και άνω και εγγυάται το μέγιστο όριο αντοχής στην οξείδωση μέχρι 20 χρόνια (Ευρωκώδικας 3). Οι τεγίδες διατομής -C- -80/40/15 και πάχους 2 mm, κατασκευάζονται από γαλβανισμένο χαλυβδοέλασμα σκληρότητας –S 320 και Z-275 σύμφωνα με το πρότυπο EN-10346 με κατεργασίες ψυχρής έλασης.

Οι βάσεις στήριξης που θα τοποθετηθούν έχουν μελετηθεί στατικά με βάση τους σχετικούς Ευρωκώδικες είναι της εταιρείας GEOSOLSA.



Εικόνα 3.9 Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών συστοιχιών.

3.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΑΗΕ.

3.2.1 Smart String ESS - LUNA2000-2.0MWH-2H1 (Κοντέινερ μπαταριών).

Το Huawei Smart String ESS χρησιμοποιεί έναν αρθρωτό σχεδιασμό και αποτελείται από τον θάλαμο της μπαταρίας, τον θάλαμο του Smart Rack Controller και τον γενικό θάλαμο ελέγχου. Ενσωματώνει μπαταρίες φωσφορικού σιδήρου λιθίου σε ειδικά ράφια, σύστημα διαχείρισης φόρτισης εκφόρτωσης μπαταρίας (BMS), σύστημα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC), σύστημα φωτισμού, σύστημα ανίχνευσης και αυτόματης κατάσβεσης πυρκαγιάς, σύστημα ασφαλείας και σύστημα έκτακτης ανάγκης, συσκευές προστασίας από υπερτάσεις (SPD), συσκευές προστασίας γείωσης και συσκευές ανίχνευσης σφαλμάτων γείωσης.

Το σύστημα χρησιμοποιεί κυψέλες των 280Ah (πακέτο 1P18S , 57.6 V/280 Ah, 16.128) και κάθε ράφι μπαταριών περιέχει 21 πακέτα μπαταριών συνδεδεμένα σε σειρά. Κάθε κοντέινερ φιλοξενεί έξι ράφια μπαταριών, με ονομαστική χωρητικότητα 2,032 MWh. Κάθε ράφι ξεχωριστά συνδέεται με έναν έξυπνο ελεγκτή για ανεξάρτητη διαχείριση. Η ονομαστική τάση στην πλευρά υψηλής τάσης του DC στο ESS είναι 1250 V.

3.2.1.1 Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας (BMS).

Το Σύστημα Διαχείρισης Μπαταρίας (BMS) είναι ο βασικός πυρήνας του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας (ESS). Το έξυπνο BMS της Huawei υιοθετεί μια αρχιτεκτονική τεσσάρων επιπέδων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-2. Αποτελείται από το BMU (Μονάδα Παρακολούθησης Μπαταρίας) σε επίπεδο πακέτου, το BCU (Μονάδα Ελέγχου Μπαταρίας) σε επίπεδο ραφιού, το CMU (Κεντρική Μονάδα Παρακολούθησης) σε επίπεδο συστήματος και το SACU (Έξυπνος Ελεγκτής Σειράς) σε επίπεδο σειράς για να παρακολουθεί, να προστατεύει και να διαχειρίζεται έξυπνα το σύστημα μπαταρίας.

LUNA2000-2.0MWH Series Smart String ESS



More Energy



Optimal Investment



Simple O&M



Safe & Reliable

Battery Container			
Model	LUNA2000-2.0MWH-4H1	LUNA2000-2.0MWH-2H1	LUNA2000-2.0MWH-1H1
DC Rated Voltage		1,250 V	
DC Max. Voltage		1,500 V	
Nominal Energy Capacity		2,032 kWh	
Charge & Discharge Rate	< 0.25 C	< 0.5 C	< 1 C
Rated Power	169.5 kW * 3	338.7 kW * 3	338.7 kW * 6
Container Configuration (W x H x D)		6,058 x 2,896 x 2,438 mm	
Container Weight		≤ 30 t	
Operation Temperature Range		-30°C ~ 55°C	
Storage Temperature Range		-40°C ~ 60°C	
Relative Humidity		0 ~ 100% (Non-condensing)	
Max. Operating Altitude		4,000 m	
Cooling Method		Smart Air Cooling	
Configuration of HVAC	2 HVACs	4 HVACs	6 HVACs
Fire Suppression Agent		FM-200 or Novec 1230™	
Communication Interface		Ethernet / SFP	
Communication Protocol		Modbus TCP / IEC104	
Protection Degree		IP55	
Anti-corrosion Protection		C5-Medium	
Black Start		Yes	
Standards Compliance			
RoHS6, IEC62477-1, IEC62040-1, IEC61000-6-2, EN55011, UL9540A, IEC62619, UN3536, etc.			

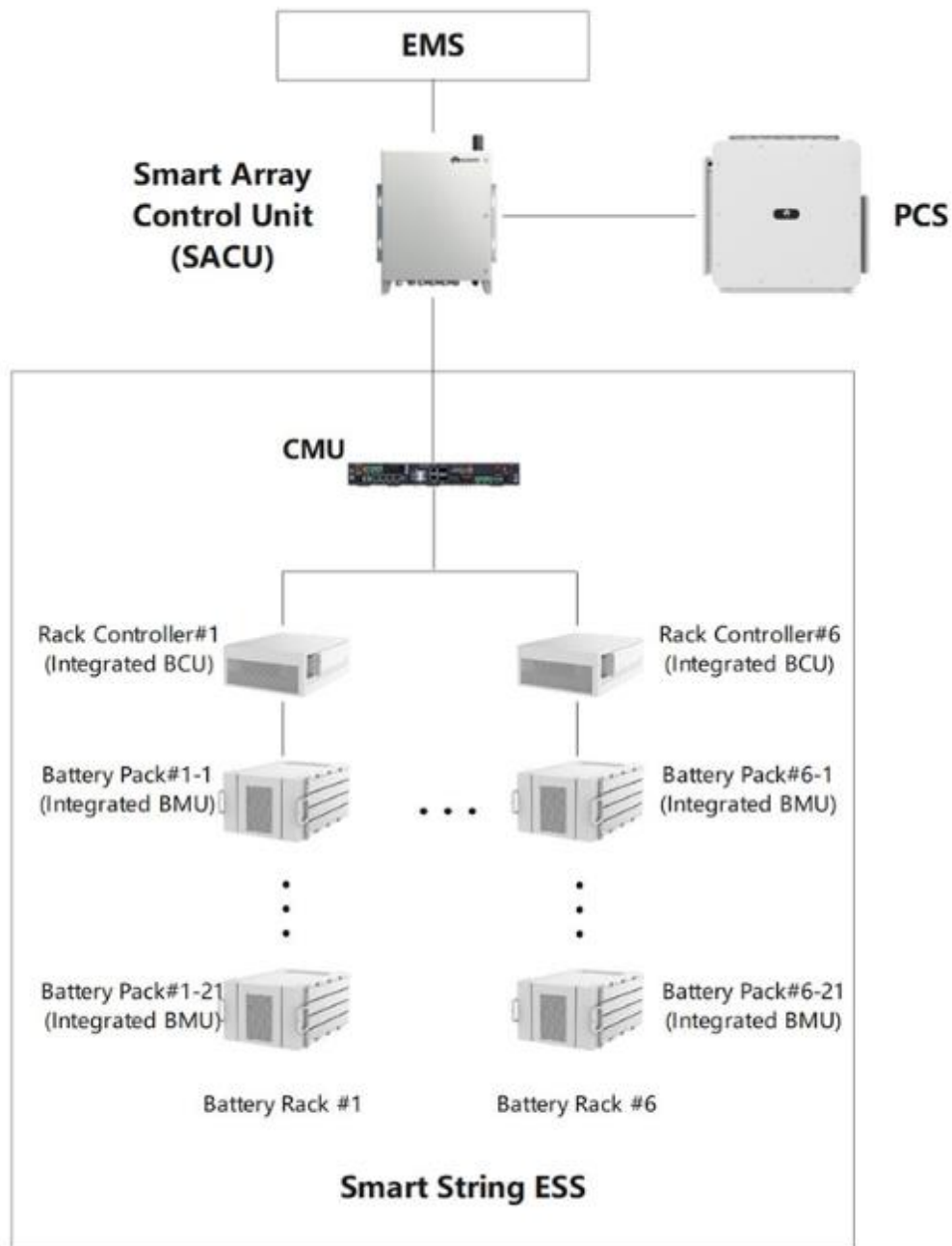
Εικόνα 3.10 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή κοντέινερ μπαταριών.

- **BMU (Μονάδα Παρακολούθησης Μπαταρίας):** Αυτή η μονάδα παρακολουθεί και συλλέγει πληροφορίες για τη λειτουργία της μπαταρίας, διαχειρίζεται την παθητική

εξισορρόπηση των ηλεκτροχημικών κυττάρων, διαγιγνώσκει σφάλματα και παρακάμπτει ένα πακέτο μπαταρίας χρησιμοποιώντας τον βελτιστοποιητή πακέτου μπαταρίας.

- **BCU (Μονάδα Ελέγχου Μπαταρίας):** Συλλέγει πληροφορίες για όλα τα πακέτα μπαταρίας, καθώς και για την τάση και το ρεύμα ολόκληρου του ραφιού μέσω της BMU. Δημιουργεί συναγερμούς και προστατεύει το ράφι μπαταριών κατά τη φόρτιση και την αποφόρτιση. Επιπλέον, δίνει εντολές στην BMU για εξισορρόπηση του SOC (κατάσταση φόρτισης) μεταξύ των πακέτων μπαταριών σε ένα ράφι και παρακάμπτει ανεξάρτητα κάθε πακέτο μπαταρίας, υλοποιώντας βελτιστοποίηση σε επίπεδο πακέτου.
- **CMU (Κεντρική Μονάδα Παρακολούθησης):** Διαχειρίζεται την BMU και την BCU, αναλύει και υπολογίζει τα ανεβασμένα δεδομένα, επεξεργάζεται συναγερμούς, καταγράφει και αποθηκεύει δεδομένα, εξισορροπεί φορτία μεταξύ των ραφιών και διαχειρίζεται την κατάσταση φόρτισης (SOC) και την κατάσταση υγείας (SOH). Επίσης, συλλέγει πληροφορίες από το σύστημα παρακολούθησης περιβάλλοντος (όπως το σύστημα πυρόσβεσης, το σύστημα ψύξης, τον αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας, και τον αισθητήρα νερού) του Smart String ESS για να δημιουργήσει κατάλληλες πολιτικές ψύξης, να βελτιώσει τη συνέπεια της θερμοκρασίας της μπαταρίας και να προειδοποιήσει και να αντιδράσει σε περίπτωση πυρκαγιάς για να προστατεύσει την ασφάλεια του ESS.

Το BMS είναι επίσης ενσωματωμένο με το άμεσο PCS. Μόλις το BMS ανιχνεύσει έναν κρίσιμο συναγερμό, όπως υπερβολικό ρεύμα ή βραχυκύκλωμα, στέλνει αμέσως ένα σήμα ελέγχου ξηρής επαφής για να διακόψει εκτάκτως το PCS και να προστατεύσει το σύστημα από επιδείνωση ή επηρεασμό άλλων συσκευών.



Εικόνα 3.11 Αρχιτεκτονική του συστήματος διαχείρισης μπαταρίας.

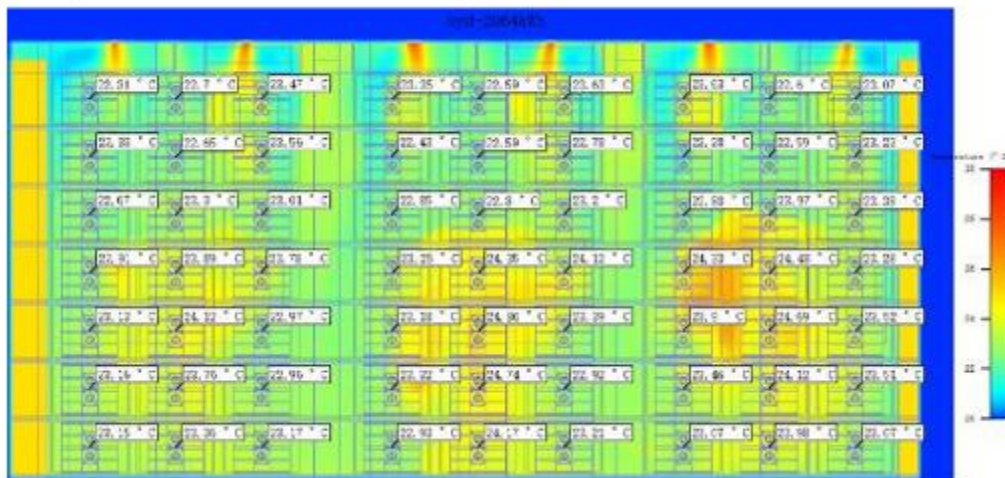
3.2.1.2 Έξυπνο Σύστημα Κλιματισμού.

Το Smart String ESS υιοθετεί σχεδιασμό με σταθερή θερμοκρασία και υγρασία. Το ενσωματωμένο βιομηχανικό σύστημα ψύξης και θέρμανσης χρησιμοποιεί ένα καταναεμημένο

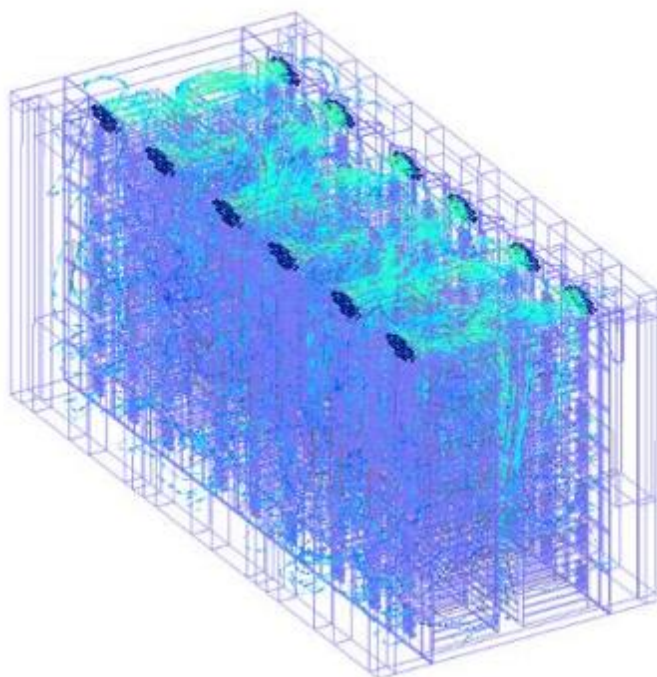
σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας. Αντί για παραδοσιακά κεντρικά κλιματιστικά, χρησιμοποιούνται κλιματιστικά τοποθετημένα στις πόρτες, τα οποία διατηρούν σταθερή θερμοκρασία στο κοντέινερ. Ο ψυχρός αέρας διοχετεύεται από την κορυφή και κυκλοφορεί μέσα στο κοντέινερ, εμποδίζοντας την είσοδο σκόνης.

Ο ψυχρός αέρας που εξέρχεται από το κλιματιστικό ρέει κατά μήκος της επάνω πλάκας προς το πίσω μέρος των ραφιών μπαταριών στις δύο πλευρές και στη συνέχεια απορροφάται από τους ανεμιστήρες στα πακέτα μπαταριών. Ο θερμός αέρας κατευθύνεται προς την είσοδο του κλιματιστικού πάνω από την κορυφή της πόρτας. Αυτό διατηρεί τη θερμοκρασία στο κοντέινερ στους $23 \pm 5^\circ\text{C}$, εξασφαλίζοντας τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας για τις μπαταρίες. Η θερμοκρασία εξόδου του αέρα είναι χαμηλή, και για να αποφευχθεί η συμπύκνωση, τοποθετείται αφρός θερμομόνωσης PEF στην κορυφή του κοντέινερ.

Επιπλέον, μέσω επαγγελματικής θερμικής προσομοίωσης, η Huawei αναλύει και βελτιστοποιεί συνολικά τον θερμικό σχεδιασμό με βάση τα αποτελέσματα δοκιμών σε διαφορετικά σενάρια υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας, ώστε να διασφαλίσει ότι ο σχεδιασμός διάχυσης της θερμότητας ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις. Η εικόνα 3.12 δείχνει την προσομοίωση θερμότητας και το διάγραμμα ροής αέρα στο σενάριο 0.5C. Η υψηλότερη θερμοκρασία στο κοντέινερ είναι 24.86°C , η χαμηλότερη θερμοκρασία είναι 22.31°C , και η διαφορά θερμοκρασίας είναι μόλις 2.5°C .



Εικόνα 3.12 Προσομοίωση θερμοκρασίας του εσωτερικού ενός κοντέινερ μπαταριών.

Figure 4-4 Internal air flow diagram of Huawei Smart String ESS**Εικόνα 3.13** Προσομοίωση ροής αέρα στο εσωτερικό ενός κοντέινερ μπαταριών.

3.2.2 PCS LUNA2000-200KTL-H0

Το Smart PCS είναι ένα από τα βασικά εξαρτήματα που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) σε συνεχές (DC) και το αντίστροφο. Το string PCS της Huawei υιοθετεί έναν αρθρωτό σχεδιασμό και είναι εγκατεστημένο εξωτερικά. Δεν χρειάζεται να εγκατασταθεί σε κοντέινερ, κάτι που απλοποιεί την εγκατάσταση και τη συντήρηση στον χώρο.

LUNA2000-200KTL Series Smart PCS



Max. Efficiency 99%



Modular Design



IP66 Protection



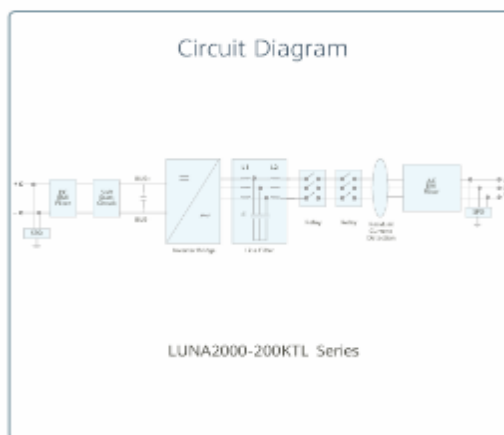
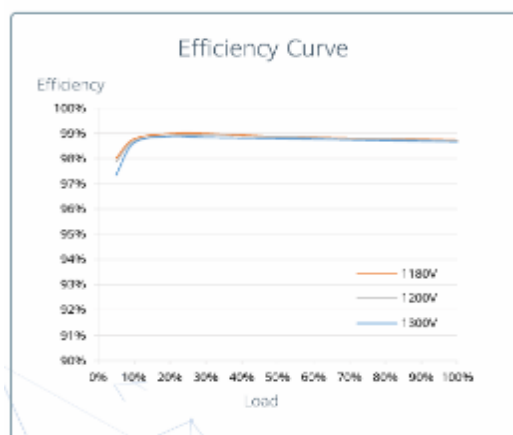
Surge Arresters for
DC & AC



Ethernet
Communication



Smart Grid
Algorithm



Εικόνα 3.14 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετατροπέα μέρος Α.

LUNA2000-200KTL Series
Technical Specifications

Model	LUNA2000-200KTL-H0	LUNA2000-200KTL-H1
Efficiency		
Max. Efficiency	99.0%	
DC Side		
Rated DC Voltage	1,180 V	
Max. DC Voltage	1,500 V	
Operating DC Voltage Range	1,180 V ~ 1,500 V	
Max. DC Current	207.6 A	
Max. Number of Inputs	1	
AC Side		
Rated AC Active Power	200,000 W @40°C	
Rated AC Voltage	800 V	
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz	
Max. AC Current	173.2 A	
Adjustable Power Factor Range	-1 ... +1	
Max. Total Harmonic Distortion	THD _i < 1% (Rated)	
Black Start	-	Yes
Protection		
AC Overcurrent Protection	Yes	
DC Reverse-polarity Protection	Yes	
Insulation Resistance Detection	Yes	
Residual Current Protection	Yes	
DC Surge Protection ¹	Type II	
AC Surge Protection ¹	Type II	
Communication		
Display	LED Indicators, WLAN + APP	
USB	Yes	
Ethernet	Yes	
General		
Dimensions (W x H x D)	875 x 820 x 365 mm	
Weight	< 99 kg	
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C	
Cooling Method	Smart Air Cooling	
Max. Operating Altitude without Derating	4,000 m	
Relative Humidity	0 ~ 100% (Non-condensing)	
DC Connector	OT / DT Terminal	
AC Connector	OT / DT Terminal	
Protection Degree	IP66	
Anti-corrosion Degree	C5-Medium	
Topology	Transformerless	
Standards Compliance		
RoHS, IEC 62477-1, IEC 61000-6-2, IEC 61683, VDE 4120, EN 50549, etc.		

¹ - Compatible Type II protection class according to IEC / EN 61643-11

Εικόνα 3.15 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετατροπέα μέρος Β.

3.2.3 DC LV panel DCBOX-9/5-H0.

Τα string PCS της Huawei εγκαθίστανται πάνω στους οδηγούς στην κορυφή του πίνακα χαμηλής τάσης DC (DC LV Panel). Τα καλώδια του PCS εισέρχονται και εξέρχονται από το κάτω μέρος. Κάθε είσοδος DC του PCS συνδέεται με έναν κλάδο στον πίνακα χαμηλής τάσης DC. Ο πίνακας χαμηλής τάσης DC διαθέτει 14 διακόπτες κυκλώματος (450 A) για την προστασία των τμημάτων. Η έξοδος AC συνδέεται με την πλευρά χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή και προστατεύεται από τον διακόπτη κυκλώματος στον πίνακα συνδυασμού στην πλευρά χαμηλής τάσης.

DCBOX-9/5-H0
DC LV Panel



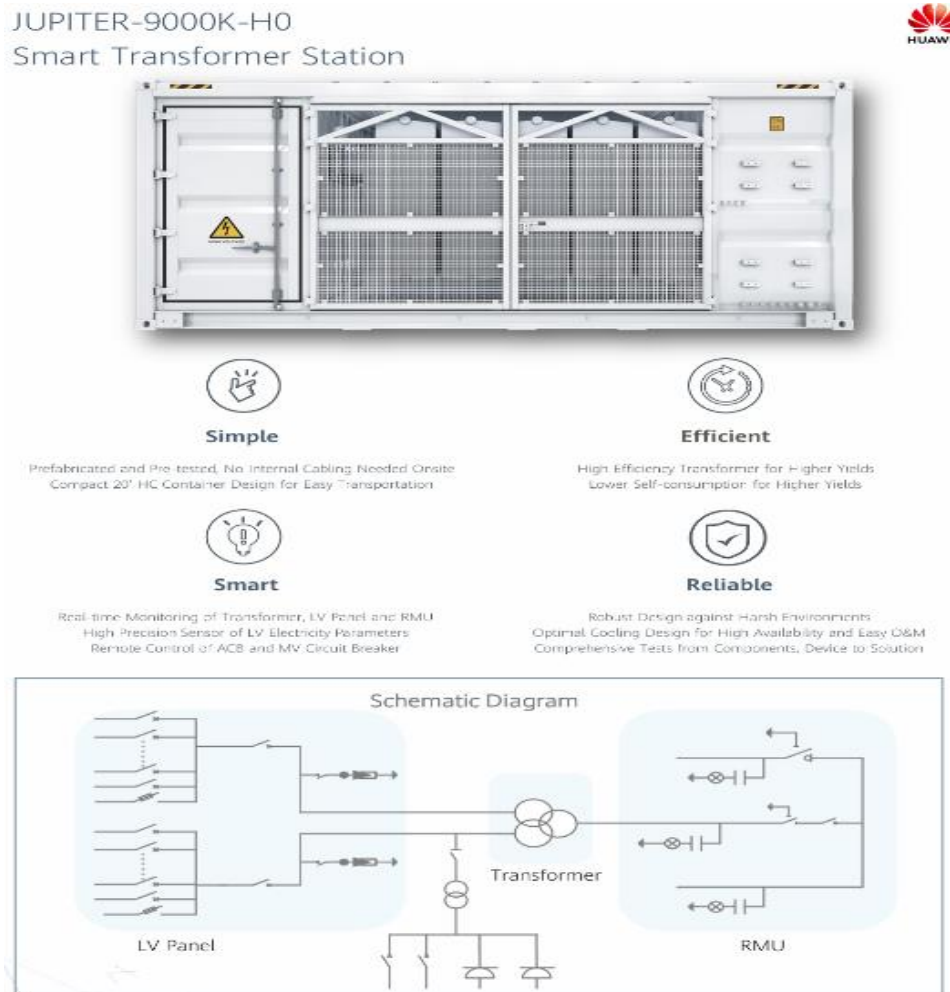
Electrical	
Applicable Smart String ESS	LUNA2000-2.0MWH-1HT
Max. Input Voltage	1,500 V
Nominal Input Voltage	1,200 V
Max. Branch Current for Battery Rack Side	321 A
Max. Branch Current for PCS Side	193 A
Number of DC Circuit Breaker	14
Max. Input Number of Battery Rack	9
Max. Input Number of PCS	5
Max. Convergence Capacity	5 x 193 A
Protection	
DC Overcurrent Protection	Yes
Environment	
Operating Temperature Range	30°C – 60°C
Relative Humidity	0 – 100% (Non-condensing)
Max. Operating Altitude	4,000 m
General	
Cable Entries	Top in for PCS & Bottom in for Battery Rack
Dimensions (W x H x D)	2,040 x 1,415 x 975 mm
Weight (Without Smart PCS)	< 750 kg
DC Connector / AC Connector	OT Terminal
Protection Degree	IP55
Installation Options	Grounding

Εικόνα 3.16 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή πίνακα χαμηλής τάσης.

3.2.4 Μετασχηματιστές.

Για την πραγματοποίηση του ΣΑΗΕ και την συνεργασία του με το σύστημα παραγωγής ενέργειας θα χρησιμοποιηθεί συνδυασμός από τους παρακάτω μετασχηματιστές με ισχύ 9MW και 6 MW. Οι υπομονάδες των 9 MW και 6 MW (9 MVA JUPITER-9000KTL-H0, 6MVA STS-6000KTL-H1 Smart Transformer Station) συνδέουν τον ΣΑΗΕ με το δίκτυο μέσης τάσης (MV). Στο σημείο σύνδεσης υπάρχει κατάλληλο σύστημα διαχείρισης ροής της ενέργειας όπου αποφασίζει αν η ροή ενέργειας θα είναι από το σύστημα παραγωγής ενέργειας προς το δίκτυο ή προς τον ΣΑΗΕ καθώς και αν η ροή θα είναι από τον ΣΑΗΕ προς το δίκτυο.

3.2.4.1 Έξυπνος Μετασχηματιστής - JUPITER-9000K-H0.



Εικόνα 3.17 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετασχηματιστή 9MW μέρος Α
Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας ΕΑΠ

JUPITER-9000K-H0
Technical Specifications

Input		
Available Inverters	SUN2000-200KTL / SUN2000-215KTL / SUN2000-185KTL / LUNA2000-200KTL	
Max. LV AC Inputs	44	
AC Power	9,000 kVA @40°C / 8,250 kVA @50°C ¹	
Rated Input Voltage	800 V	
LV Main Inputs	ACB (4,000 A / 800 V / 3P, 2 x 1 pcs), MCCB (250 A / 800 V / 3P, 2 x 22 pcs)	
Output		
Rated Output Voltage	10 kV, 11 kV, 13.2 kV, 15 kV, 20 kV, 22 kV, 30 kV, 33 kV, 35 kV ²	13.8 kV, 34.5 kV ²
Frequency	50 Hz	60 Hz
Transformer Type	Oil-immersed, Conservator Type	
Transformer Cooling Type	ONAN	
Transformer Tappings	± 2 x 2.5%	
Transformer Oil Type	Mineral Oil (PCB Free)	
Transformer Vector Group	Dy11-y11	
Transformer Min. Peak Efficiency Index	In Accordance with EN 50588-1	
RMU Type	SF ₆ Gas Insulated	
RMU Transformer Protection Unit	MV Vacuum Circuit Breaker Unit	
RMU Cable Incoming / Outgoing Unit	Direct Cable Unit or Cable Load Break Switch Unit	
Auxiliary Transformer	Dry Type Transformer, 5 kVA, II0	
Output Voltage of Auxiliary Transformer	800 / 230 / 127 Vac	
Protection		
Transformer Monitoring & Protection	Oil Level, Oil Temperature, Oil Pressure and Buchholz	
Protection Degree of MV & LV Room	IP 54	
Internal Arcing Fault of STS	IAC A 20 kA 1s	
MV Relay Protection	50/51, 50N/51N	
LV Overvoltage Protection	Type I+II	
Anti-rodent Protection	C5 Medium in accordance with ISO 12944	
Features		
2 kVA UPS	Optional ³	
MV Surge Arrester for Transformer	Optional ³	
General		
Dimensions (W x H x D)	6,058 x 2,896 x 2,438 mm (20' HC Container)	
Weight	< 28 t	
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C ⁴ (-13°F ~ 140°F)	
Relative Humidity	0% ~ 95%	
Max. Operating Altitude	1,000 m ⁵	
MV-LV AC Connections	Prewired and Pretested, No Internal Cabling Onsite	
LV & MV Room Cooling	Smart Cooling without Air-across for Higher Availability	
Communication	Modbus TCP, Preconfigured with SmartACU2000D	
Applicable Standards	IEC 62271-202, EN 50588-1, IEC 60076, IEC 62271-200, IEC 61439-1	

Εικόνα 3.18 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετασχηματιστή 9MW μέρος 'B.

3.2.4.2 Έξυπνος Μετασχηματιστής - STS-6000K-H1.

STS-6000K-H1 Smart Transformer Station



Simple

Prefabricated and Pre-tested, No Internal Cabling Needed Onsite
Compact 20' HC Container Design for Easy Transportation



Efficient

High Efficiency Transformer for Higher Yields
Lower Self-consumption for Higher Yields



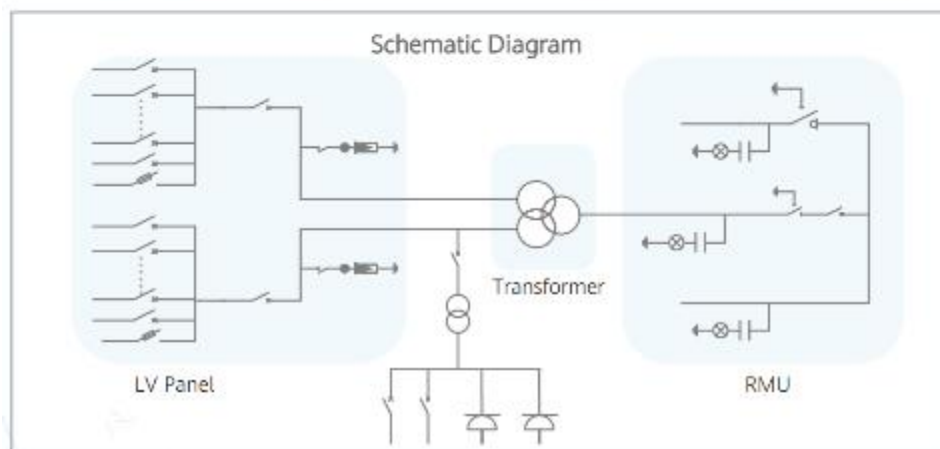
Smart

Real-time Monitoring of Transformer, LV Panel and RMU
High Precision Sensor of LV Electricity Parameters
Remote Control of ACB and MV Circuit Breaker



Reliable

Robust Design against Harsh Environments
Optimal Cooling Design for High Availability and Easy O&M
Comprehensive Tests from Components, Device to Solution



Εικόνα 3.19 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετασχηματιστή 6MW μέρος 'Α

STS-6000K-H1

Technical Specifications

Input		
Available Inverters / PCS	SUN2000-200KTL / SUN2000-215KTL / SUN2000-185KTL / LUNA2000-200KTL	
Maximum LV AC Inputs	34	
AC Power	6,800 kVA @40°C ¹	
Rated Input Voltage	800 V	
LV Main Switches	ACB (2900 A / 800 V / 3P, 2 x 1 pcs), MCCB (250 A / 800 V / 3P, 2 x 17 pcs)	
Output		
Rated Output Voltage	11 kV, 15 kV, 20 kV, 22 kV, 30 kV, 33 kV, 35 kV ²	13.8 kV, 34.5 kV ²
Frequency	50 Hz	60 Hz
Transformer Type	Oil-immersed, Conservator Type	
Transformer Cooling Type	ONAN	
Transformer Tappings	± 2 x 2.5%	
Transformer Oil Type	Mineral Oil (PCB Free)	
Transformer Vector Group	Dy11-y11	
Transformer Min. Peak Efficiency Index	Tier 1 or Tier 2 in Accordance with EN 50588-1	
RMU Type	SF ₆ Gas Insulated	
RMU Transformer Protection Units	MV Vacuum Circuit Breaker Units	
RMU Cable Incoming / Outgoing Units	Direct Cable Unit or Cable Load Break Switch Unit	
Auxiliary Transformer	Dry Type Transformer, 5 kVA, Dyn11	
Output Voltage of Auxiliary Transformer	400 / 230 Vac or 220 / 127 Vac	
Protection		
Transformer Monitoring & Protection	Oil Level, Oil Temperature, Oil Pressure and Buchholz	
Protection Degree of MV & LV Room	IP 54	
Internal Arcing Fault Classification of STS	IAC A 20 kA 1s	
MV Relay Protection	50/51, 50N/51N	
LV Overvoltage Protection	Type I+II	
Anti-rodent Protection	C5 Medium in accordance with ISO 12944	
Features		
2 kVA UPS	Optional ³	
MV Surge Arrester for MV VCB	Optional ³	
General		
Dimensions (W x H x D)	6,058 x 2,896 x 2,438 mm (20' HC Container)	
Weight	< 22 t	
Operating Temperature Range	-25°C ~ 60°C ⁴ (-13°F ~ 140°F)	
Relative Humidity	0% ~ 95%	
Max. Operating Altitude	1,000 m ⁵	1,500 m ⁵
MV-LV AC Connections	Prewired and Pretested, No Internal Cabling Onsite	
LV & MV Room Cooling	Smart Cooling without Air-cross for Higher Availability	
Communication	Modbus-RTU, Preconfigured with Smartlogger3000B	
Applicable Standards	IEC 62271-202, EN 50588-1, IEC 60076, IEC 62271-200, IEC 61439-1	

¹ - More detailed AC power of STS, please refer to the de-rating curve.

² - Rated output voltage from 10 kV to 35 kV, more available upon request.

³ - Extra expense needed for optional features which standard product doesn't contain, more options upon request.

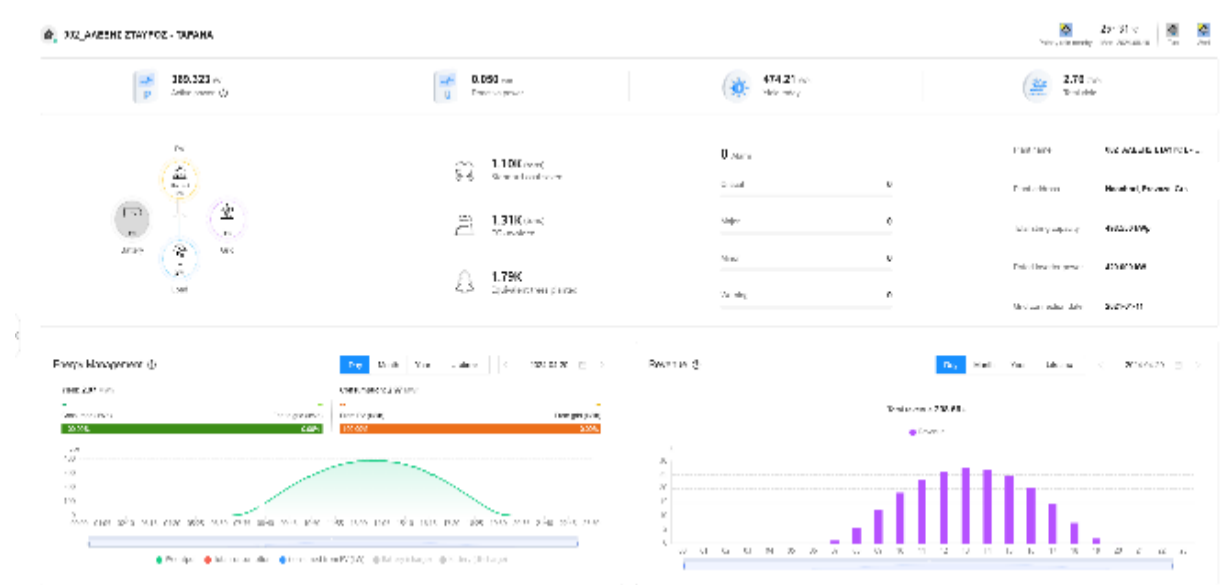
⁴ - When ambient temperature >55°C, wiring shall be equipped for STS on site by customer.

⁵ - For higher operating altitude, pls consult with Huawei.

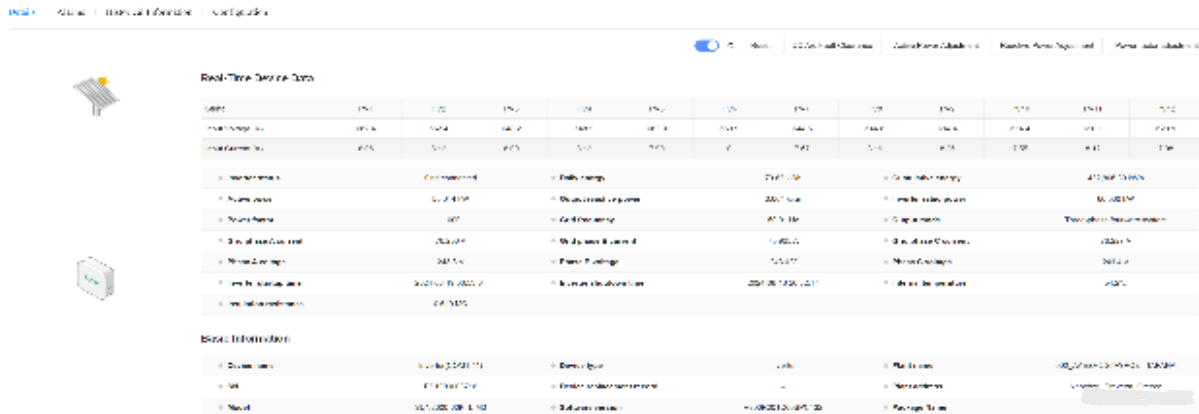
Εικόνα 3.20 Τεχνικές πληροφορίες κατασκευαστή μετασχηματιστή 6MW μέρος 'B.

3.3 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

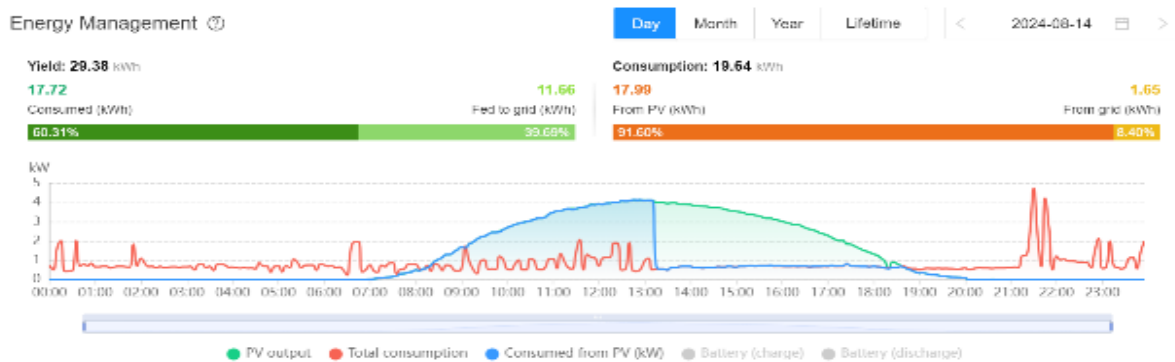
Το Φ/Β σύστημα και οι μονάδες αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να συνδεθούν και να διαχειρίζονται από ένα σύστημα, βελτιώνοντας έτσι την αποδοτικότητα της λειτουργίας και συντήρησης (O&M). Η πλατφόρμα παρακολούθησης προσφέρει δεδομένα για κάθε χρονική στιγμή μέσα στην μέρα, ανά διαστήματα 5 λεπτών, όπως καιρικές συνθήκες, παραγωγή ενέργειας, διάγνωση βλαβών αλλά και υπολογισμό εσόδων. Αντίστοιχα για το ΣΑΗΕ υποστηρίζει την οπτικοποιημένη παρακολούθηση του Smart String ESS μέσω γραφικής απεικόνισης των δεδομένων λειτουργίας σε επίπεδο ραφιού μπαταριών, πακέτου και κυψελών, επιτρέποντας τη λεπτομερή διαχείριση.



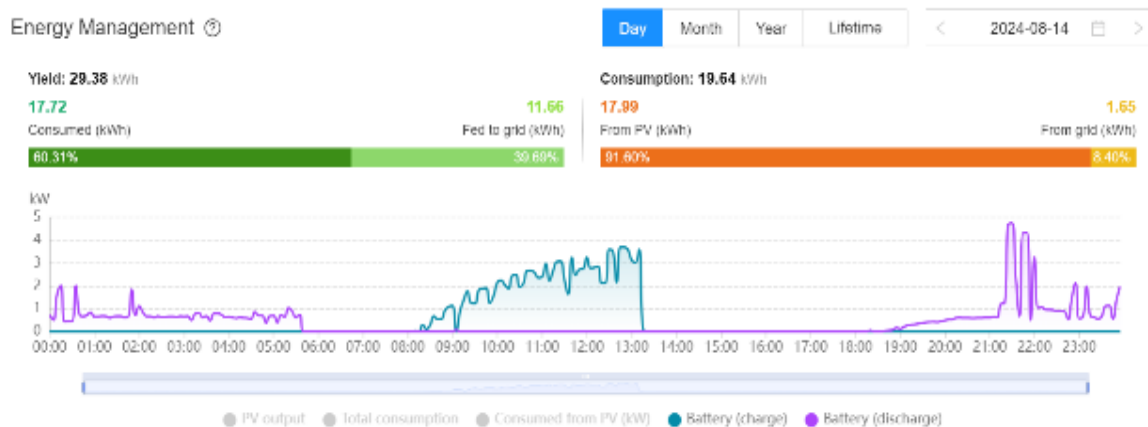
Εικόνα 3.21 Αρχική οθόνη πλατφόρμας παρακολούθησης συστημάτων του φωτοβολταϊκού σταθμού στην θέση Ταράνα.



Εικόνα 3.22 Οθόνη πλατφόρμας παρακολούθησης λειτουργίας μετατροπέων.



Εικόνα 3.23 Οθόνη πλατφόρμας παρακολούθησης λειτουργίας ενός συστήματος με κατανάλωση ενέργειας.



Εικόνα 3.24 Οθόνη πλατφόρμας παρακολούθησης λειτουργίας ενός συστήματος με ενσωματωμένο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

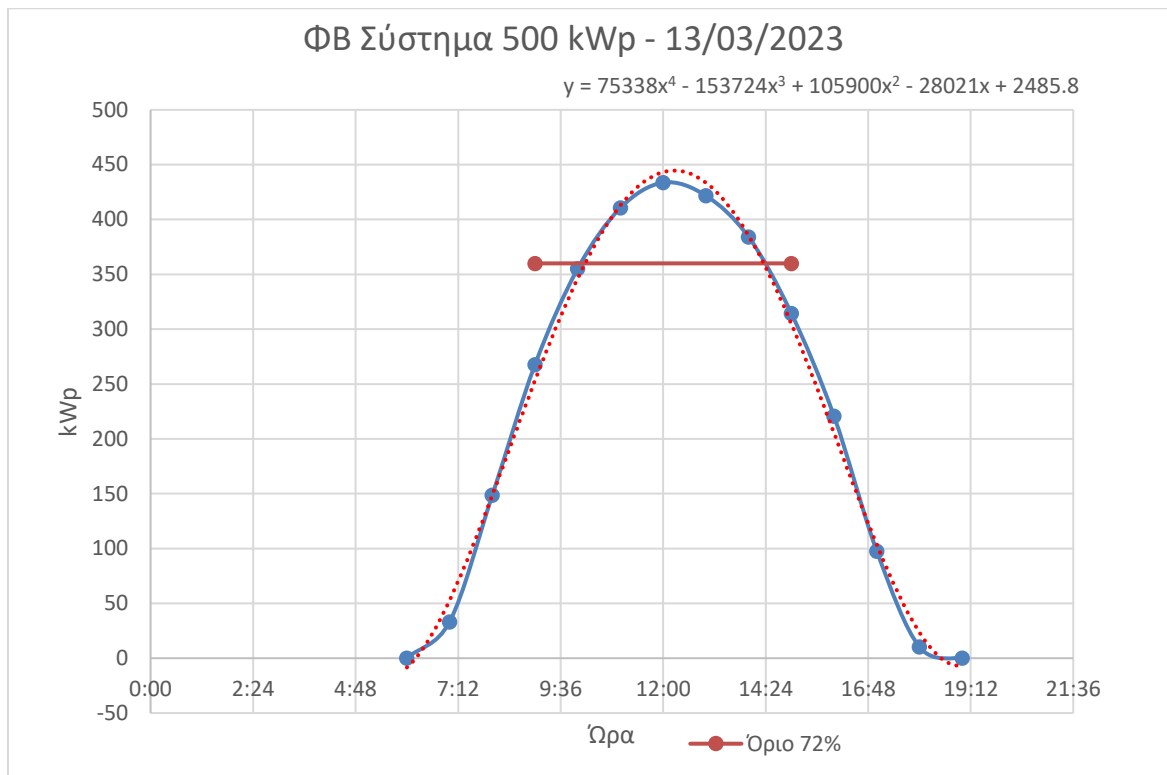
3.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΚΛΙΜΑΚΑ ΕΡΓΟΥ

Για τον καθορισμό της ισχύος του ΣΑΗΕ είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η αναλυτικά η παραγωγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού συστήματος. Στο πείραμα έχουμε καταγραφή δεδομένων παραγωγής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 500 kWp. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούμε τα δεδομένα για την στιγμιαία παραγωγή και κατασκευάζουμε διαγράμματα παραγωγής ενέργειας – χρόνου. Στην συνέχεια ανάγουμε τα διαγράμματα σε μεγαλύτερο σύστημα ισχύος 100 MWp.

3.4.1 Σχηματισμός καμπύλης παραγωγής ενέργειας

Για τον σχεδιασμό της καμπύλης παραγωγής ενέργειας του φωτοβολταϊκού συστήματος ακολουθείται η εξής μεθοδολογία:

1. Καταγράφουμε τα δεδομένα για στιγμιαίας παραγωγής ισχύος για κάθε ημέρα, ανά διαστήματα 1 ώρας.
2. Δημιουργούμε καμπύλη παραγωγής ενέργειας - χρόνου με προσεγγιστική συνάρτηση πολυωνύμου 4^{ου} βαθμού.
3. Στις ημέρες όπου τα δεδομένα συνήθως λόγω καιρικών συνθηκών δεν είναι κατάλληλα για τον σχεδιασμό η σύνδεση των σημείων στις καμπύλες γίνεται από ευθύγραμμα τμήματα.
4. Υπολογίζονται η παραγωγές κάθε ημέρας ξεχωριστά με χρήση ολοκληρωμάτων.
5. Συγκρίνονται οι προσεγγίσεις της παραγωγής ενέργειας με τις πραγματικές μετρήσεις παραγωγής και υπολογίζεται συντελεστής ασφαλείας αποτελεσμάτων.
6. Τέλος υπολογίζεται το ποσό ενέργειας που ξεπερνάει το όριο έγχυσης 72% του σταθμού στο δίκτυο κοινής ωφέλειας.



Εικόνα 3.25 Διάγραμμα προσέγγισης καμπύλης ισχύος – χρόνου.

3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΔΑΝΙΚΟΥ ΣΑΗΕ

Υπολογίζουμε την συνολική αποθηκευμένη ενέργεια στο ΣΑΗΕ έχοντας τις πραγματικές καμπύλες παραγωγής και θέτοντας το όριο 72% όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τέλος αποφασίζουμε το κατάλληλο ΣΑΗΕ με επαναληπτική διαδικασία λαμβάνοντας υπόψιν τα έσοδα από μία μέση τιμή πώλησης ενέργειας του day ahead market τα έξοδα από την αγορά και εγκατάσταση του ΣΑΗΕ καθώς και την οικονομική ενίσχυση για την κατασκευή και λειτουργία του.

3.5.1 Υποβάθμιση των μπαταριών.

Παράμετροι:

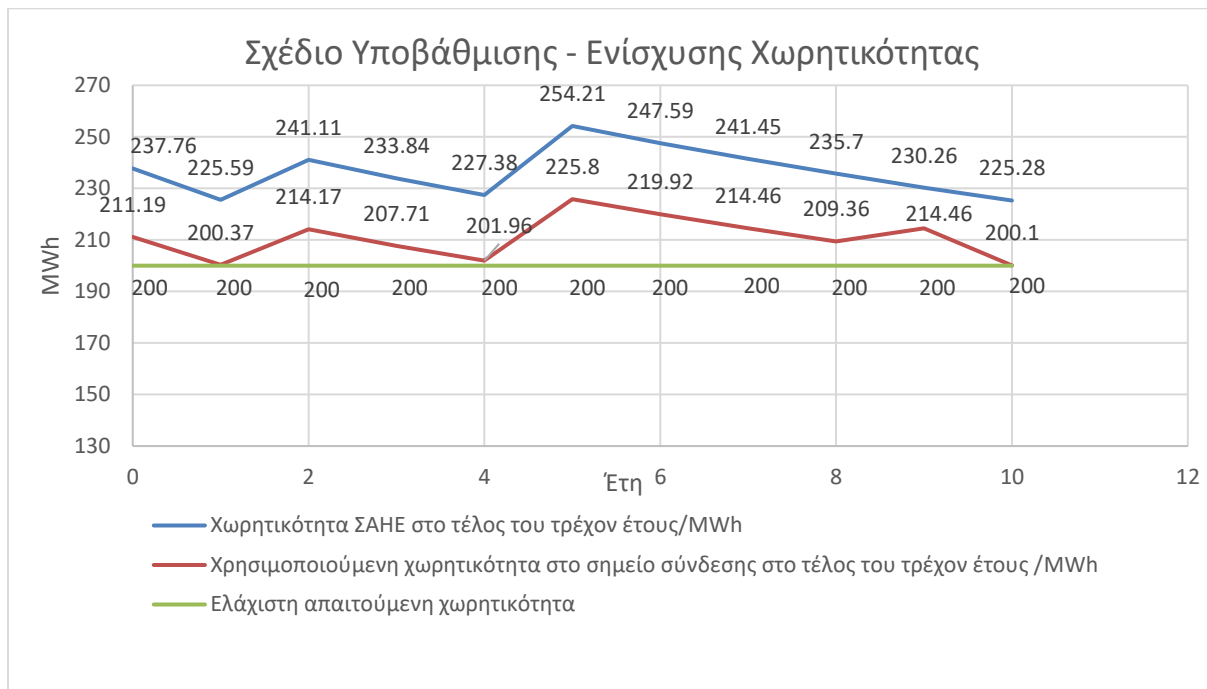
- Το πλάνο υποβάθμισης του ΣΑΗΕ θεωρείται για τα πρώτα 10 χρόνια.
- Θεωρώντας έναν κύκλο φόρτισης – εκφόρτωσης την ημέρα
- Με μέση τιμή θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κοντέινερ 25 οC
- Σταθμός αποθήκευσης 100 MW/200 MWh

Με βάση της παραμέτρους το κάθε κοντέινερ έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Ονομαστική χωρητικότητα 2.032MWh και πραγματική χωρητικότητα στο σημείο σύνδεσης 1.805 MWh.

Πίνακας 3.1 Σχέδιο υποβάθμισης - ενίσχυσης των μπαταριών.

Έτος	Εγκατάσταση νέων κοντέινερ στον ΣΑΗΕ	Χωρητικότητα νέων κοντέινερ/MWh	Χωρητικότητα ΣΑΗΕ στο τέλος του τρέχον έτους/MWh	Χρησιμοποιούμενη χωρητικότητα στο σημείο σύνδεσης στο τέλος του τρέχον έτους /MWh
0	-		237.76	211,19
1	117	237.76	225.59	200,37
2	12	24.39	241.11	214,17
3	0	0	233.84	207,71
4	0	0	227.38	201,96
5	17	34.550	254,21	225,80
6	0	0	247,59	219,92
7	0	0	241,45	214,46
8	0	0	235,70	209,36
9	0	0	230,26	214,46
10	0	0	225,28	200,10
Σύνολο	29			



Εικόνα 3.26 Σχέδιο υποβάθμισης - ενίσχυσης των μπαταριών.

Επομένως υπολογίζουμε πως θα χρειαστούν περίπου 3 κοντέινερ ανά 10 MW αρχικής εγκατεστημένης ισχύος του ΣΑΗΕ.

3.5.2 Συνολικό κόστος επένδυσης.

Το κόστος που προτάθηκε για το ΣΑΗΕ είναι όπως προκύπτει ανά MW εγκατεστημένης ισχύος είναι 570.000 €. Η προσφορά ισχύει για έργα ισχύος 50 έως 150 MW (100 έως 300 MWh). Το κόστος συμπεριλαμβάνει τα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας του ΣΑΗΕ καθώς και του σχεδίου Υποβάθμισης – Ενίσχυσης Χωρητικότητας.

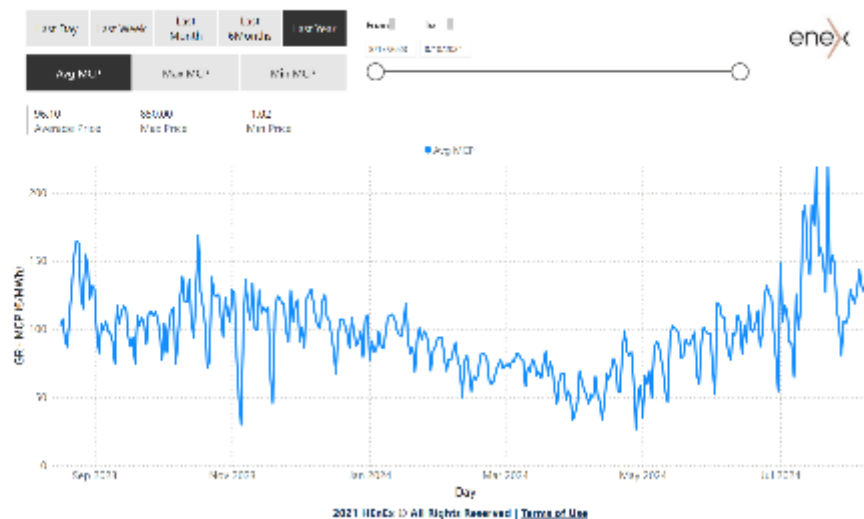
3.5.3 Οικονομική ενίσχυση

Η οικονομική ενίσχυση όπως προβλέπεται από την Ένταξη ανταγωνιστική διαδικασία προσφέρει επενδυτική ενίσχυση της τάξης των 100.000 €/MW και λειτουργική ενίσχυση της τάξης των 200.000 €/MW. Τελικά προσφέρεται συνολικά ενίσχυση 300.000 €/MW.

3.5.4 Τιμή πώλησης της MWh

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στην τιμή εκκαθάρισης της αγοράς επόμενης ημέρας για το τελευταίο έτος μία ασφαλής εκτίμηση για την πώληση της MWh στην μελέτη είναι τα 75€/MWh.

Τιμή εκκαθάρισης της Αγοράς Επόμενης Ημέρας



3.5.5 Επαναληπτική διαδικασία.

Για την καλύτερη προσέγγιση και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων θα γίνει δοκιμή διαφόρων τιμών για την ισχύ του ΣΑΗΕ. Θα δοκιμαστούν τιμές από 50 MW έως ότου να βρεθεί η βέλτιστη τιμή.

3.5.6 Κόστος επένδυσης.

Το κόστος επένδυσης του έργου περιλαμβάνει:

1. Το κόστος αγοράς εξοπλισμού
2. Το κόστος εγκατάστασης
3. Το λειτουργικό κόστος του σταθμού
 - a. Κόστος μίσθωσης χώρου εγκατάστασης του ΣΑΗΕ
 - b. Κόστος συντήρησης μηχανημάτων
 - c. Καθαρισμός χώρου
 - d. Ασφάλεια

ε. Επίβλεψη και παρέμβαση βλαβών

Το συνολικό κόστος σύμφωνα με άλλους εγκατεστημένους ΣΑΗΕ ανέρχεται στα 570.000 €/MW εγκατεστημένης ισχύος.

3.5.7 Οικονομική ενίσχυση.

Η οικονομική ενίσχυση που προβλέπεται αποτελείται μόνο από την επενδυτική ενίσχυση κατασκευής του ΣΑΗΕ 200.000€/MW εγκατεστημένης ισχύος καθώς τα έσοδα του σταθμού θα έρθουν από την συμμετοχή του στις αγορές.

3.5.8 Έσοδα ΣΑΗΕ.

Τα έσοδα του ΣΑΗΕ θα προέρχονται κυρίως από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με το μοντέλο Αγοράς Επόμενης Ημέρας που σημαίνει πως η τιμή πώλησης θα συμφωνείται εκ των προτέρων πριν παραχθεί η ενέργεια για την επόμενη ημέρα. Σύμφωνα με την εικόνα ... μία αποδεκτή μέση τιμή πώλησης κατά μέσο όρο για όλο τον χρόνο είναι τα 75€/MWh.

3.5.9 Ποσό εκμεταλλεύσιμης ενέργειας.

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από τις προσεγγίσεις του κεφαλαίου 3.4.1 θα γίνει προσομοίωση φόρτισης – εκφόρτωσης του ΣΑΗΕ και υπολογισμός της τελικής εκμεταλλεύσιμης ενέργειας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, η παρούσα σπουδαστική εργασία εστιάζει στη θεωρητική ανάλυση συνδυασμού ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με ένα σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και την σωστή ανάλυση απαιτήσεων της αγοράς. Εξετάζει το θεωρητικό υπόβαθρο και τις παραμέτρους που καθορίζουν τη λειτουργία των επιμέρους συστημάτων όπως και την απόδοσή τους. Η θεωρητική προσέγγιση της εργασίας παρέχει τις βάσεις για την κατανόηση και τον συνδυασμό των δύο συστημάτων για την βελτίωση της απόδοσης, αναδεικνύοντας τη σημασία της σωστής σχεδίασης και μελέτης.

Η διαδικασία άντλησης δεδομένων και οι υπολογισμοί που παρουσιάστηκαν στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται στη διπλωματική εργασία, που αποτελεί συνέχεια της παρούσης σπουδαστικής εργασίας, στην οποία και θα παρουσιαστούν πειραματικές μετρήσεις, συγκριτικά διαγράμματα και τελικά συμπεράσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] [Online]. Available: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/solar-panels/history-of-solar-pv>
- [2] [Online]. Available: <https://www.nv5.com/news/a-brief-history-of-energy-storage/>
- [3] [Online]. Available <https://www.britannica.com/technology/battery-electronics/Development-of-batteries>
- [4] Hoff, Sara; DeVilbiss, Jonathan (April 24, 2017). "More than half of utility-scale solar photovoltaic systems track the sun through the day". U.S. Energy Information Administration.
- [5] [Online]. Available: <https://byjus.com/question-answer/what-is-the-working-principle-of-a-transformer/>
- [6] Κασουρι Μάριος, Μιχάλι Τζούλιο-Αλέξανδρος (2017) Φωτοβολταϊκά Συστήματα
- [7] Xiangjun Li, Senior Member, IEEE, Dong Hui, and Xiaokang Lai *ieee transactions on sustainable energy*, vol. 4, no. 2, april 2013
- [8] [Online]. Available: <https://eitisolar.com/lithium-battery-principles-and-applications/>
- [9] [Online]. Available: <https://energypress.gr/news/periorismoi-eghysis-monimos-koftis-gia-ta-fotovoltaika-se-hronika-parathyra-gia-aiolika-kai>
- [10] ΧΑΣΑΠΗΣ Δ. ΣΥΜΕΩΝ (2022) Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) με Συστήματα Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Α.Η.Ε.) και διασύνδεσή τους στο Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας
- [11] Nickolay I. Shchurov, Sergey I. Dedov, Boris V. Malozyomov, Alexander A. Shtang , Nikita V. Martyushev, Roman V. Klyuev and Sergey N. Andriashin. Degradation of Lithium-Ion Batteries in an Electric Transport Complex
- [12] [Online]. Available: <https://www.rae.gr/ilektrismos/xondremporiki-agora-diasynd-systima/agora-epomenis-imeras/>
- [13] Εφημερίδα της κυβερνήσεως 22 Νοεμβρίου 2023 ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ Αρ. Φύλλου 6608